Volume 6, Issue 3, 2023

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
FOOD SYSTEMS

ISSN 2618-9771 (Print)
ISSN 2618-7272 (On line)
http://www.fsjour.com

Национальный, рецензируемый журнал посвящен основным проблемам науки о пищевой промышленности. Основной миссией является: создание, агрегация, поддержка и распространение научного контента в области пищевой промышленности, объединение усилий исследователей научных центров, университетов, преодоление разрыва между изданиями регионального, национального и федерального уровней. Журнал призван освещать актуальные проблемы в пищевой и смежных отраслях, продвигать новые перспективные технологии в широкую аудиторию научных и практических работников, преподавателей, аспирантов, студентов, предпринимателей. Научная концепция издания предполагает публикацию новых знаний в области пищевых систем и научных основ ресурсосберегающих технологий глубокой переработки сельскохозяйственного сырья, прорывных технических решений для производства пищевых продуктов общего и специализированного назначения. В журнале публикуются научные и обзорные статьи, доклады, сообщения, рецензии, краткие научные сообщения (письма в редакцию), информационные публикации по направлениям: технология пищевых производств; процессы, оборудование и аппараты пищевых производств; гигиена питания; биотехнология; стандартизация, сертификация, качество и безопасность; экономика; автоматизация и информатизация технологических процессов. Подробная информация для авторов и читателей представлена на сайте: www.fsjour.com.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
www.fsjour.com

Учредитель, издатель и типография
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
109316, Москва, Талалихина, 26

РЕДАКЦИЯ
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
109316, Москва, Талалихина, 26
Тел.: +7-495-676-95-11, доб. 300
e-mail: a.zakharov@fncps.ru

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре
Регистрационные данные:
ПИ № ФС77–71610 от 13.11.2017
ЭЛ № ФС 77–72022 от 26.12.2017
Издается с 2018 года.
Материалы публикуются на условиях лицензии CC BY 4.0
Цена свободная.
Периодичность — 4 номера в год.
Подписано в печать 02.10.2023.
Дата выхода в свет 05.10.2023.
Тираж 300 экз. Заказ № 492.

16+

© ФНЦПС, 2023
© Авторы, 2023

ISSN 2618-9771 (Print)
ISSN 2618-7272 (Online)
DOI-prefix: 10.21323/2618-9771

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:
Кузнецова Оксана Александровна — Доктор технических наук, Директор, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:
Лисицын Андрей Борисович — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники, Научный руководитель, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:
Семенова Анастасия Артуровна — Доктор технических наук, профессор, Заместитель директора, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ:
Горлов Иван Федорович — Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Научный руководитель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции», Волгоград, Россия
Замаратская Галия — Кандидат технических наук, доцент, Научный работник, Шведский университет аграрных наук, г. Упсала, Швеция
Настасиевич Иван — Доктор, Адъюнкт-директор, Институт гигиены и технологии мяса, Белград, Сербия
Такеда Широ —Адъюнкт-профессор, Профессор лаборатории науки о пище, Институт ветеринарной медицины, Университет Азабу, Сагамихара, Япония
Просеков Александр Юрьевич — Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Ректор, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
Горбунова Наталия Анатольевна — Кандидат технических наук, Ученый секретарь, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия
Arif Nur Muhammad Ansori — PhD, Доктор ветеринарных наук, научный сотрудник, Университет Айрланга, Сурабая, Индонезия

ВЫПУСКАЮЩИЙ РЕДАКТОР:
Захаров Александр Николаевич — Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Заведующий редакционно-издательским отделом, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, РАН, Москва, Россия

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:
Абрамова Любовь Сергеевна — Доктор технических наук, профессор, Заместитель директора Департамента, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия
Баженова Баяна Анатольевна — Доктор технических наук, профессор, Профессор кафедры «Технология мясных и консервированных продуктов», Восточно-Сибирский университет технологии и управления», Улан-Удэ, Россия
Галстян Арам Генрихович — Доктор, технических наук, академик РАН, Директор, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности РАН, Москва, Россия
Донник Ирина Михайловна — Доктор биологических наук, профессор, Академик РАН, Вице-президент РАН, Москва, Россия
Евдокимов Иван Алексеевич — доктор технических наук, профессор, Заведующий кафедрой «Технология молока и молочных продуктов» Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия
Иванкин Андрей Николаевич — Доктор химических наук, профессор, Заведующий кафедрой «Химия», Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Мытищи, Московская область, Россия
Кочеткова Алла Алексеевна — Доктор технических наук, профессор, Руководитель лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия
Машенцева Наталья Геннадиевна — Доктор технических наук, доцент, профессор РАН, профессор, кафедра «Биотехнология и технология продуктов биоорганического синтеза» Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия
Мирошников Сергей Александрович — Доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Ректор, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
Римарева Любовь Вячеславовна — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия
Петров Андрей Николаевич — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Директор, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Видное, Московская область, Россия
Ребезов Максим Борисович — Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия
Чернуха Ирина Михайловна — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Заведующий отделом, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

The national peer reviewed journal is dedicated to the main problems of food science. The main mission is to create, aggregate, support and distribute the scientific content in the field of the food industry, join the efforts of researchers from scientific centers and universities, bridge the gap between publications at the regional, national and federal levels. The journal serves to highlight topical problems in the food and related industries, promote new promising technologies among the wide audience of scientific and practical professionals, lecturers, students, postgraduate students and entrepreneurs. The scientific concept of the journal envisages publication of new knowledge in the field of food systems and scientific foundations of the resource saving technologies for deep processing of agricultural raw materials, breakthrough technical solutions for producing food of general and specialized purpose. The journal publishes scientific and review papers, reports, communications, critical reviews, short scientific communications (letters to the editorial office), information materials concerned with food technology, processes, equipment and apparatus for food production, nutritional hygiene, biotechnology, standardization, certification, quality and safety, economics, automation and informatization of technological processes. The detailed information is given on the site: www.fsjour.com.

Minister of Science and Higher Education of the Russian Federation

V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences (Gorbatov Research Center for Food Systems)

FOOD SYSTEMS
www.fsjour.com

Founder, Publisher and Printing Office:
Federal State Budgetary Scientific Institution "V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences"
Talalikhina str. 26, Moscow, Russia, 109316

EDITORIAL OFFICE:
Federal State Budgetary Scientific Institution
"V.M. Gorbatov Federal Research Center
for Food Systems of Russian Academy of Sciences"
Talalikhina str. 26, Moscow, Russia, 109316
Tel.: +7-495-676-95-11 extension 300
e-mail: a.zakharov@fncps.ru

The Journal is registered in the Federal Service on Supervision in the sphere of communication industry, information technologies and public communications.
The certificate of registration is
PI № FS 77 – 71610 of 13.11.2017
EL № FS 77 – 72022 of 26.12.2017
Founded in 2018.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License
Free price.
Frequency — 4 issues a year.
Signed print 02.10.2023.
Released from press 05.10.2023.
Circulation — 300 copies. Order № 492.

16+

© FNCPS, 2023
© Authors, 2023

ISSN 2618-9771 (Print)
ISSN 2618-7272 (Online)
DOI-prefix: 10.21323/2618-9771

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF:
Oxana A. Kuznetsova, Doctor of technical sciences, Director, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:
Andrey B. Lisitsyn, Doctor of technical sciences, Professor, Academician of RAS, Scientific supervisor, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:
Anastasiya A. Semenova, Doctor of technical sciences, Professor, Deputy Director, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

SCIENTIFIC EDITORS:
Ivan F. Gorlov, Doctor of agricultural sciences, Professor, Academician of RAS, Scientific supervisor of Povolzhskiy Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia
Galia Zamaratskaya, Candidate of technical sciences, Docent, Research Worker, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden
Ivan Nastasijevic, Doctor, Associate Director, Institute of Meat Hygiene and Technology, Belgrad, Serbia
Takeda Shiro, Associate Professor, Laboratory of Food Science School of Veterinary Medicine, Azabu University, Sagamihara, Japan
Aleksandr Yu. Prosekov, Doctor of technical sciences, Professor, Corresponding member of RAS, Rector, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
Natalia A. Gorbunova, Candidate of technical sciences, Academic Secretary, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
Arif Nur Muhammad Ansori, Doctor, Doctor in Veterinary Sciences, Researcher, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

PRODUCTION EDITOR:
Aleksandr N. Zakharov, Candidate of technical sciences, Senior research worker, Head of the Department of Editorial and Publishing, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:
Liubov S. Abramova, Doctor of technical sciences, Professor, Deputy Director of the Department, Russian Federation Research Institute of Fishery and Oceanography, Moscow, Russia
Baiana A. Bazhenova, Doctor of technical sciences, Professor, Professor of the chair «Meat and canned product technology» of East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia
Aram G. Galstyan, Doctor of technical sciences, Academician of RAS, Director, All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia
Irina M. Donnik, Doctor of biological sciences, Professor, Academician of RAS, Vice president of RAS, Moscow, Russia
Ivan A. Evdokimov, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the chair "Technology of milk and dairy products", North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia
Andrey N. Ivankin, Doctor of Chemical Sciences, Professor,Head of the chair of Chemistry, Mytishchi branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytischi, Moscow region, Russia
Alla A. Kochetkova, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the «Laboratory of food biotechologies and specialized products», Federal Research Centre of nutrition, biotechnology and food safety, Moscow, Russia
Natal'ya G. Mashentseva, Doctor of technical sciences, Professor RAS, Professor, Chair of Biotechnology and Technology of Products of Bioorganic Synthesis, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia
Sergey A. Miroshhikov, Doctor of biological sciences, Professor, Corresponding member of RAS, Rector, Orenburg State University, Orenburg, Russia
Liubov V. Rimareva, Doctor of technical sciences, Professor, Academician of RAS, Chief Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology — branch Federal Research Centre of nutrition, biotechnology and food safety, Moscow, Russia
Andrey N. Petrov, Doctor of technical sciences, Professor, Academician of RAS, Director, All-Russian Research Institute of Canning Technology — Branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Vidnoe, Moscow region, Russia
Maxim B. Rebezov, Doctor of agricultural sciences, Professor, Chief Researcher, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
Irina M. Chernukha, Doctor of technical sciences, Professor, Academician of RAS, Head of the Department, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

Яшин А. Н., Петров А. Н.
АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ОБОГАЩЕННЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДИЕТОТЕРАПИИ ПРИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ 272

Abdalla S. M. Ammar
NUTRITIONAL CONTENTS OF LOW PHENYLALANINE DIETS: A MINI REVIEW 279

Фоменко О. Ю.
СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНОМА ВИРУСА ЛЕЙКОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА: МИНИ-ОБЗОР 283

Latifahtur L. Rahmah, Arif N. M. Ansori
DIVERSITY OF SAMBAL TYPES IN INDONESIA 288

Егорова М. И., Пузанова Л. Н., Михалева И. С., Власенко А. С.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АДЕКВАТНОСТЬ ПРОДУКЦИИ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 298

Творогова А. А., Шобанова Т. В., Гурский И. А., Казакова Н. В.
ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОРОЖЕНОГО ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА ЛАКТОЗЫ 308

Колпакова В. В., Фан К. Ч., Гайворонская И. С., Чумикина Л. В.
СВОЙСТВА И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БЕЛКОВ НАТИВНЫХ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ БЕЛОГО И КОРИЧНЕВОГО РИСА 317

Севостьянова Е. М., Ганин М. Ю.
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД НАГУТСКОГО И ЕССЕНТУКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЛЕЧЕБНО-СТОЛОВЫХ ВОД «НАГУТСКАЯ-4» И «ЕССЕНТУКИ № 4» 329

Гернуг Х., Чернуха И. М., Утьянов Д. А.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОЛИВКОВОГО МАСЛА ИЗ АЛЖИРА 337

Кондратьев Н. Б., Руденко О. С., Казанцев Е. В., Белова И. А. Петрова Н. А.
ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СОХРАННОСТИ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПЕНООБРАЗНОЙ СТРУКТУРЫ 342

Абрамова Л. С., Козин А. В., Гусева Е. С., Лаврикова К. А.
ОЦЕНКА ВКУСОВЫХ КАЧЕСТВ ЛОСОСЯ АТЛАНТИЧЕСКОГО МЕТОДОМ ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ 350

Sherzod D. Mirzaxmedov, Jahongir H. Hasanov, Octavio Calvo-Gomez, Elvira M. Sultonova, Erkin H. Nematov, Abdusamad H. Nabiyev
FLAXSEED *(LINUM USITATISSIMUM)* LOW TEMPERATURE PROCESSING: OIL QUALITY AND FATTY ACIDS PROFILE 358

Dewi Luthfiana, Maratu Soleha, Andri Prasetiyo, Wisnu A. Kusuma, Rizka Fatriani, Lina Nurfadhila, Norainny Yunitasari, Ahmad H. Ahkam, Teresa L. Wargasetia, Rizal Irfandi, Arif N. M. Ansori, Viol D. Kharisma, Sin W. Naw, Emdad Ullah, Vikash Jakhmola, Rahadian Zainul
NETWORK PHARMACOLOGY AND MOLECULAR DOCKING STUDY TO REVEAL THE POTENTIAL ANTICANCER ACTIVITY OF OSCILLATOXIN D, E, AND F MARINE CYTOTOXINS 365

Vladimir V. Bakharev, Gleb Yu. Mityashin, Tatyana V. Stepanova
FOOD SECURITY, FOOD WASTE AND FOOD SHARING: THE CONCEPTUAL ANALYSIS 390

Кузнецова К. Г., Ситнов В. Ю., Рябухин Д. С.
ПЕРСПЕКТИВЫ ВКЛЮЧЕНИЯ СЪЕДОБНЫХ НАСЕКОМЫХ В СОСТАВ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ 397

Ahmed A. A. El-Maksoud, Mohammad A. Hesarinejad, Tarek G. Abedelmaksoud
EXPLORING THE POTENTIAL OF SPROUTED SOYBEAN AND SESAME HULL TO INCREASE NUTRITIONAL VALUE OF ICE CREAM 403

Крикунова Л. Н., Томгорова С. М., Захарова В. А.
МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ КРИТЕРИЕВ ПЛОДОВЫХ ВОДОК ИЗ КОСТОЧКОВОГО СЫРЬЯ 409

Свириденко Г. М., Шишкина А. Н., Калабушкин В. В.
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ СЫРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЦЦЫ 416

Топникова Е. В., Афанасьева А. А., Гурский И. А., Грызунов А. А.
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАМОРАЖИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЖИРОВОЙ ЭМУЛЬСИИ В СЛИВКАХ 424

Оганесянц Л. А., Панасюк А. Л., Кузьмина Е. И., Свиридов Д. А., Лиховской В. В., Загоруйко В. А., Шмигельская Н. А.
ИЗОТОПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ВИН КРЫМА 431

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-272-278

Поступила: 24.04.2023
Поступила после рецензирования: 17.07.2023
Принята в печать: 25.07. 2023
© Яшин А. Н., Петров А. Н., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Обзорная статья
Open access

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ОБОГАЩЕННЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДИЕТОТЕРАПИИ ПРИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ

Яшин А. Н.[1],* Петров А. Н.[2]

[1] Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
функциональный продукт, микронутриенты, диетотерапия, магний, цинк, медь

АННОТАЦИЯ

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) остаются ведущей причиной смертности во всем мире. Структура питания населения и диетотерапия остаются важнейшими факторами для профилактики и лечения ССЗ. Результаты научных исследований, полученные за последнее десятилетие, приводят новые данные о роли отдельных микронутриентов в физиологических процессах и патогенезе развития данных групп заболеваний. Цель данного обзора заключалась в исследовании современной роли отдельных микронутриентов (магния, цинка и меди) в патогенезе заболеваний, включая оценку уровня их потребления в различных странах. Кроме того, в обзоре рассматривалась необходимость создания новых функциональных продуктов для использования в диетотерапии пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Включены публикации на русском и английском языках в период с 2011 по 2022 гг. из доступных баз PubMed, ScienceDirect, Scopus, «КиберЛенинка», eLIBRARY, а также из открытых интернет-источников. Исследовательская работа, проведенная в ходе подготовки настоящего обзора, была направлена на изучение сферы профилактики ССЗ, роли и актуальности разработки функциональных пищевых продуктов, обогащенных микронутриентами. Представлены данные о дисфункциях организма человека, обусловленных дефицитом поступления цинка, меди, магния. Приведены физиологические суточные нормы потребления данных микроэлементов в разных странах, установленные в настоящий момент, а также показана динамика изменения норм потребления за последние двадцать лет. Обзор суммирует новые данные о корреляции между риском возникновения определенных видов ССЗ и особенностями усвоения указанных микроэлементов. Приведен анализ регламентирующих условий, действующих на территории РФ, для внесения микроэлементов в пищевые продукты. На основании полученных результатов, сделаны выводы об актуальности дальнейшей разработки функциональных пищевых продуктов, которые не требуют изменения традиционной пищевой модели поведения.

Received 24.04.2023
Accepted in revised 17.07.2023
Accepted for publication 25.07.2023
© Yashin A. N., Petrov A. N., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Review article
Open access

THE RELEVANCE OF THE DEVELOPMENT OF FOOD PRODUCTS ENRICHED WITH TRACE ELEMENTS FOR DIET THERAPY IN CARDIOVASCULAR DISEASES

Alexey N. Yashin[1],* Andrey N. Petrov[2]

[1] Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russia
[2] Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia

KEY WORDS:
functional food, micronutrients, diet therapy, magnesium, zinc, copper

ABSTRACT

Cardiovascular diseases (CVDs) remain to be the leading cause of death in the whole world. The structure of nutrition of the population and diet therapy are extremely important factors for prevention and treatment of CVDs. Results of the scientific research obtained over the last decade give new data on the role of certain micronutrients in the physiological processes and pathogenesis of these groups of diseases. The aim of this research was to study the current role of certain trace elements (magnesium, zinc and copper) in the pathogenesis of diseases, including assessment of the level of their intake in different countries. Furthermore, the review considers the necessity of creating new functional products to use in diet therapy for patients with cardiovascular diseases. It includes publications in Russian and English for the period of 2011 to 2022 from open databases PubMed, ScienceDirect, Scopus, CyberLeninka, eLIBRARY as well as from open Internet sources. The research work carried out during preparation of this review was directed to studying the sphere of CVD prevention, role and relevance of the development of functional foods enriched with micronutrients. The data on the dysfunctions of the human body caused by the deficiency of zinc, copper and magnesium intake are presented. The current physiological daily norms for intake of these trace elements in different countries are given, and the dynamics of changes in the norms of intake over the last twenty years is shown. The review summarizes new data on the correlation between the risk of emergence of certain CVD types and the specific features of assimilation of the above-mentioned trace elements. The regulatory conditions acting on the RF territory for introducing trace elements into food products are analyzed. Based on the obtained results, conclusions were made regarding the relevance of the further development of functional foods that do not require changes in the traditional food behavior model.

1. Введение

Несмотря на достижения современной медицины, группа сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) продолжает оказывать существенное влияние на продолжительность и качество жизни населения во всем мире [1,2]. Сформированная научная база исследований и накопленные клинические данные убедительно показывают, что структура и качество питания населения напрямую влияют на показатели заболеваемости и смертности от ССЗ [3,4]. Остаются дискутабельными вопросы о наиболее эффективной диетотерапии и о роли отдельных компонентов в рационе питания ввиду высокой

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Яшин, А. Н., Петров, А. Н.** (2023). Актуальность разработки обогащенных микроэлементами продуктов питания для диетотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях. *Пищевые системы*, 6(3), 272-278. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-272-278

FOR CITATION: **Yashin, A. N., Petrov, A. N.** (2023). The relevance of the development of food products enriched with trace elements for diet therapy in cardiovascular diseases. *Food Systems*, 6(3), 272-278. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-272-278

гетерогенности диет и исследуемых групп [5]. При этом многие исследователи отмечают, что современному человеку крайне сложно обеспечивать себя необходимым и сбалансированным составом микронутриентов [3,6]. Недостаток микронутриентов характерен для разных возрастных групп населения РФ [7–9].

Новые данные научных исследований, полученные за последнее десятилетие, указывают на более тесную связь отдельных микронутриентов в механизмах развития патологических процессов и их роли в профилактике ССЗ, чем считалось ранее. Отмечается важность формы, количества и соотношения поступления микронутриентов, а также значимость персонализированного подхода в определении специализированных пищевых продуктов для восполнения дефицита микронутриентов [7,10,11,12]. Данный подход очевидно повышает необходимость расширять перечень функциональных пищевых продуктов для населения. В таком случае разработка и внедрение новых форм функциональных продуктов питания для населения остается актуальным вопросом.

Целью данного обзора является анализ новых данных о роли отдельных микронутриентов (магний, цинк и медь) в патогенезе ССЗ, современного представления об необходимом уровне их потребления в разных странах и целесообразности включения в диетотерапию при ССЗ.

Задачи исследования — обобщение медицинских рекомендаций по применению отдельных микронутриентов с целью разработки новых функциональных пищевых продуктов для профилактики и диетотерапии при ССЗ.

2. Материалы и методы

Для анализа предметного поля были изучены научные публикации российских и зарубежных авторов, посвященные профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, а также роли и важности разработки функциональных пищевых продуктов, обогащённых микронутриентами. Поиск осуществлялся в доступных на бесплатной основе базах PubMed, ScienceDirect, Scopus, при помощи научных электронных библиотек «КиберЛенинка», eLIBRARY, а также в открытых интернет-источниках. Критерии отбора представлены в Таблице 1. В анализе были использованы опубликованные статьи и обзоры за период с 2011 по 2022 годы.

В стратегию автоматического и ручного поиска были включены следующие комбинации ключевых слов:

- на английском языке: *CVD, cardiovascular nutrition, preventive cardiology, functional nutrition, micronutrients, diet therapy, magnesium, zinc, copper;*
- на русском языке: сердечно-сосудистые заболевания, питание, превентивная кардиология, функциональное питание, микронутриенты, диетотерапия, магний, цинк, медь.

В процессе анализа сохранялась информация об авторах, о годе издания, о ключевых выводах, относящихся к исследовательским вопросам, а также информация о DOI (при наличии). Исключались дубли, нерелевантные источники и публикации с подтвержденным конфликтом интересов.

3. Результаты и обсуждение

В течение последних лет группа сердечно-сосудистых болезней (ССЗ) остается актуальной проблемой в вопросах демографии и увеличения продолжительности жизни населения во всем мире [1,2]. ССЗ — это общий термин для заболеваний, поражающих сердце и кровеносные сосуды, а также обуславливающих такие патологические состояния, как инсульт, ишемическая болезнь сердца, сердечная недостаточность [1,3,13]. Как хроническое прогрессирующее бремя для здоровья, развитие сердечно-сосудистых заболеваний связано с различными факторами риска, включая гипертонию, дислипидемию, а также резистентность к инсулину, большинство из них вызывают развитие атеросклероза, повреждение структуры сосудов и склонность к тромбозам [14,15]. Именно ССЗ как класс заболеваний сердца и кровеносных сосудов неинфекционного характера являются негативным социально-экономическим трендом и ведущей причиной смертности и инвалидности во всем мире [16,17].

Отмечается, что общемировой уровень смертности от ССЗ достигает в последнее время 17,9 млн смертей в год, что составляет свыше одной трети от общего уровня смертности [18,19]. В странах с высоким и выше среднего уровнем доходов отмечается тенденция к снижению смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, в то время как в странах с уровнем доходов ниже среднего и с низким наблюдается рост смертности — данный показатель сейчас достигает 59% [1,18]. Риск летального исхода от ССЗ увеличивается с возрастом, эти заболевания менее распространены среди молодых возрастных групп [20]. Тем не менее сердечно-сосудистые заболевания по-прежнему являются причиной более 1,4 миллиона смертей в возрасте до 75 лет и около 700 000 смертей в возрасте до 65 лет [18–20]. Среди населения в возрасте до 75 лет процент случаев летального исхода от ССЗ у женщин и мужчин составляет 36% и 35% соответственно. При этом в возрасте до 65 лет пациенты мужского пола более подвержены риску смерти от ССЗ (30%), превышая показатель смертности у женщин (26%). Инсульт и инфаркт миокарда также являются ведущими причинами смертности, от которых страдают 17,3 миллиона человек во всем мире [19].

В России общее число умерших от болезней сердечно-сосудистой этиологии в 2020 году составило 938,5 тысяч человек, что представляет собой 43,9% от всех случаев смерти. При этом 32,6% мужчин и 23,3% женщин погибают от болезней системы кровообращения в трудоспособном возрасте. Ожидается, что к 2030 году это число возрастет до 23,3 миллионов [21].

Рандомизированные клинические и экспериментальные исследования убедительно доказали, что структура питания населения как модифицируемый фактор парадигмы комплексного лечения сердечно-сосудистых заболеваний напрямую влияет на возможность снижения заболеваемости и смертности от ССЗ [3,4,22,23]. Исследования 2019 года на тему взаимосвязи различных болезней и диетической поддержки показали, что отсутствие адекватного рациона питания являлось вторым фактором риска смертности среди женщин и третьим среди мужчин во всем мире. В количественном выражении это составляло 3,48 миллионов смертей (13,5%) и 4,47 миллионов смертей (14,6%) соответственно [3,4]. По оценкам аналитиков, преобладающий процент пациентов с установленными факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний в РФ также не придерживаются рациональной модели питания [3,4,24].

Известно, что за счет привычного рациона питания невозможно обеспечить потребности современного человека в микронутриентах, а анализ питания населения свидетельствует об общем глобальном дефиците питательных микроэлементов [3,6]. При этом

Таблица 1. **Критерии отбора источников для обзора предметного поля**

Table 1. **Criteria for selection of sources for review of the subject field**

Критерий	Включение	Исключение	Обоснование
Контекст	Объективные данные о роли питания и об отдельных микронутриентах в профилактике и патогенезе ССЗ, связь с функциональным питанием и нормами потребления для населения разных стран	Научные данные, основанные на анализе рациона питания без детализации микронутриентного состава рациона, а также без оценки влияния на ССЗ и на профилактику	Необходимость определить актуальность разработки функциональных пищевых продуктов, обогащенных отдельными микронутриентами, играющими важную патогенетическую роль в развитии ССЗ
Язык	Русский Английский	Публикации на других языках	Ввиду необходимости подтверждения актуальности анализа для разработки функционального продукта для жителей РФ
Период	2011–2022 (включительно)	Нет	Статьи более раннего периода не учитывают полноту современного представления о роли некоторых микроэлементов в патогенезе ССЗ и профилактике.
Типы статей	Обзорные, эмпирические	Источники, не прошедшие рецензирование (блоги, статьи с коммерческим финансированием)	С целью исключения противоречивой информации, публикуемой авторами или организациями с подтвержденным конфликтом интересов
Статус публикации	Опубликованные статьи, рекомендации научных сообществ	Тезисы докладов конференций, сборников без возможности ознакомиться с полным текстом	Необходимость ознакомления с полным текстом публикаций

пищевая ценность и калорийность диетического рациона должны соответствовать не только физической нагрузке каждого человека, но и особенности и степени тяжести соответствующего заболевания, обеспечивая организм больного необходимой энергией, макро- и микронутриентами [3,4,7,10].

Среди населения РФ отмечается значительный алиментарный недостаток в микронутриентах, дополнительно обремененный факторами несоответствия возрастающего потребления количества продуктов и снижения физической активности [7–9]. Так, в частности, был установлен уровень дефицита у больных с сердечной недостаточностью витамина D от 17 до 68%, витаминов B_1 — до 91%, B_2 — до 27%, B_6 — до 38%. Немаловажную роль играет недостаток таких микронутриентов, как селен (в 20%), цинк (66%), железо (37–61%) [7,8], а дефицит магния у населения РФ занимает лидирующую позицию среди всех микроэлементов [8,9]. Только 14% взрослого населения имеют удовлетворительные показатели уровня потребления микронутриентов, что крайне мало в целом по стране [3,7–9].

Алиментарный дефицит микронутриентов связан не только с недостатком их поступления с пищей и водой, но и с избытком, присутствием конкурирующих микроэлементов [3,4,25,26]. В среднестатистическом рационе питания возможно присутствие антинутриентов, затрудняющих перевариваемость отдельных структурных элементов пищевых продуктов и/или препятствующих усвоению микроэлементов [3,4]. Фитаты и фитиновая кислота в рационах, богатых зерновыми продуктами, препятствуют усвоению кальция, магния, железа, цинка, меди. Это происходит из-за особенностей технологической обработки, которая способствует образованию нерастворимых солей с низкой биодоступностью данных минералов. Щавелевая кислота затрудняет всасывание магния, а ксантины, входящие в состав кофе или крепкого чая, приводят к усиленной потере магния из организма [3,27].

Количество и качественный состав получаемых питательных веществ в значительной мере зависит от типа диеты, в связи с чем форма поступления микронутриента через пищу крайне важна. Так как большинство минеральных веществ находится в неактивном состоянии в пищевых продуктах, биодоступность данных веществ, в частности, цинка повышается значительно при образовании комплексных соединений с белком [28]. Биодоступность цинка из твердой пищи может быть намного меньше, чем при употреблении жидких продуктов [28]. В повседневном рационе крайне сложно обеспечить необходимые условия биодоступности нутриентов и их достаточное поступление в организм.

Отдельным отягчающим фактором служит детерминанта долгосрочного приема лекарственных препаратов среди группы пациентов с ССЗ. Это приводит к субклиническому и клиническому дефициту микронутриентов [7,10,28]. Такая форма дефицита может развиваться в течение нескольких месяцев или лет. Однако пациентам с определенными заболеваниями может потребоваться увеличение потребления микроэлементов вследствие подверженности дополнительным рискам [29]. Вызванный лекарственными средствами дефицит микронутриентов может влиять на тенденцию протекания заболевания и на восприимчивость пациента к назначаемой терапии [30], а значимость дефицита магния, цинка и меди для пациентов сердечно-сосудистого профиля подтверждена многочисленными исследованиями.

Проведенные *in vivo* и *in vitro* исследования показали связь между дефицитом цинка и этиопатогенезом сердечно-сосудистых и почечных заболеваний, таких как гипертония, атеросклероз, застойная сердечная недостаточность, ишемическая болезнь сердца и диабет [7,10,30]. Однако на показатель усвоения цинка в организме человека влияет множество факторов. Высокий процент назначения таких групп препаратов, как нестероидные противовоспалительные препараты, диуретики, ингибиторы ангиотензин-превращающего фермента, могут стать причиной ятрогенного дефицита микронутриентов [9,29]. К примеру, применение тиазидного диуретика приводит к повышенной потере цинка с мочой среди пациентов с артериальной гипертензией в сравнении со здоровыми добровольцами [29,30]. Длительное лечение ингибиторами ангиотензин-превращающего фермента, особенно каптоприлом, может вызвать гипогензию, связанную со снижением обеспеченности организма цинком. На отрицательную динамику усвоения цинка оказывают влияние факторы сердечной и почечной недостаточности, мальабсорбции, инфекционных и воспалительных процессов, паразитарных инвазий, а также пожилой возраст [7,8,31,32].

Дефицит цинка является наиболее значительным патологическим состоянием, включающим нарушения метаболизма металлов в организме [11,31–34]. Позитивная роль данного элемента заключается в том, что цинк позволяет достичь снижения рисков заболеваемости и смертности от инфаркта миокарда, ишемической болезни сердца, атеросклероза. Снижение данных показателей возможно благодаря наличию выраженных антиоксидантных и противоспалительных свойств микроэлемента [11,34]. Вследствие этого, цинк играет важную роль в защите клеток от окислительного стресса, дефицит цинка увеличивает восприимчивость организма человека к повреждениям, вызванных окислительным стрессом, повышает осмотическую хрупкость мембран эритроцитов и уровни перекисного окисления липидов в митохондриальных и микросомальных мембранах [31,32,34].

Последствия дефицита цинка включают риски возникновения таких патологических состояний, как генерация апоптоза, окислительный стресс и воспалительные процессы в тканях. Данные патологические процессы могут способствовать развитию и/или поддержанию ряда сердечно-сосудистых заболеваний, включающих артериальную гипертензию, атеросклероз, застойную сердечную недостаточность и ишемическую болезнь сердца, почечную недостаточность [11,31,34]. Повышение риска возникновения застойной сердечной недостаточности и ишемической болезни сердца коррелирует со снижением уровня липопротеидов высокой плотности из-за дефицита микроэлемента цинка [11,35]. Синтез металлотионеинов, которые способствуют снижению перекисного окисления липидов и патологических изменений в кардиомиоцитах, также могут обуславливать падение уровня сывороточного цинка [31,34].

Стоит отметить, что до недавнего времени дефицит меди считался редкостью, но в последнее время возросло количество научных работ, свидетельствующих о том, что дефицит меди действительно может представлять проблему мирового общественного здравоохранения [10,32]. Данные риски связаны с недостаточным потреблением меди и/или повышенными потребностями, связанными с нарушением всасывания, в т. ч. мальабсорбции, а также с высокими потерями микроэлемента и с наследственными заболеваниями [10,32,33]. Имеются данные о том, что возможно возникновение дефицита меди, вызванной избыточным потреблением цинка [7,10,32]. На ухудшение усвоения меди также влияет потребление пищевых продуктов, содержащих глутамат, аспартат, усилители вкуса, ортофосфорную кислоту. Таким образом, нехватка микронутриентов в пищевом рационе и факторы, приводящие к их чрезмерной потере, еще больше усугубляют микронутриентный профиль пациентов, имеющих факторы риска ССЗ [10,27,32,36].

Установлена прямая корреляция между низкими концентрациями меди и частотой возникновения сердечно-сосудистых заболеваний [7,11]. Дефицит меди в организме человека может приводить к возможности патологического повышения кровяного давления, к снижению свертываемости крови, гипертрофической кардиомиопатии, концентрической гипертрофии сердца с характерными изменениями в структурных, функциональных и биохимических путях миокарда, а также к ишемической болезни сердца. Данная гипертрофия сердца с дефицитом меди и приводит к застойной сердечной недостаточности [7,10,11,32]. Воздействие на определенные органы или ткани включает ослабление структурной целостности сердца и кровеносных сосудов, вызывает нарушение использования энергии сердцем, снижение способности сердца сокращаться, изменение способности кровеносных сосудов контролировать свой диаметр, а также трансформацию структуры и функции циркулирующих клеток крови. В некоторых случаях причина дефекта может быть непосредственно связана со снижением активности специфического медь-зависимого фермента [10,11,27].

Многочисленные доклинические и клинические исследования демонстрируют решающую роль гомеостаза меди в поддержании сердечной функции [7,11,33,37]. Нарушение метаболизма меди, включая дефицит меди или белков транспортеров или связывающих медь белков, приводит к сердечной дисфункции, кардиомиопатии [11,33]. Дефицит меди в организме приводит к значительному риску возникновения сердечно-сосудистой патологии и замедлению процесса формирования коллагена и эластина. Стоит отметить, что полидефицитное состояние по причине отсутствия достаточного поступления не только меди, но и хрома в организме человека усиливает патологические состояния, приводящие к атеросклерозу. К таким состояниям относят повышение холестерина из-за снижения выработки ферментов лецитинхолестеринтриацилтрансферазы и липопротеинлипазы, а также увеличение содержания триглицеридов и фосфолипидов [34].

Таким образом, очевидно, что дефицит важнейших микронутриентов не всегда поддается своевременной диагностике, но детерминирует развитие или ухудшение протекания многих ССЗ [7,10,33]. Рекомендации по суточному потреблению магния, цинка и меди

Таблица 2. **Суточные нормы физиологических потребностей в минеральных веществах для взрослого населения в разных странах, мг/сут**

Table 2. **Daily norms of the physiological requirements in mineral substances for the adult population in different countries, mg/day**

№	Наименование микронутриента	Россия	Великобритания	США	Корея
1	Магний	420	Женщины: 270 Мужчины: 300	Женщины: 310–320 Мужчины: 410–420	Женщины: 240–280 Мужчины: 340–410
2	Цинк	12	Женщины: 7 Мужчины: 9,5	Женщины: 8 Мужчины: 11	Женщины: 7–8 Мужчины: 8–10
3	Медь	1	1,2	0,9	Женщины: 0,50–0,65 Мужчины: 0,65–0,85

дифференцируются в зависимости от страны. Такие различия в нормах потребления могут быть связаны с расхождениями в рационе питания, вызванными разной доступностью пищевых продуктов, парадигмой питания и региональными особенностями в пищевом поведении населения. Исследователи отмечают наличие дефицита цинка среди 20% населения всего мира, при этом наибольший уровень дефицита цинка был отмечен в Африке, Азии и центральных странах Латинской Америки [12,34].

Сравнительная оценка рекомендуемой нормы суточного потребления магния для взрослого населения показала, что потребление магния за последние двадцать лет выросло с 230 мг/сут до 420 мг/сут. При этом значения по цинку и меди остаются неизменными [8,9,12]. Причина может быть обусловлена появлением новых данных о роли перечисленных микроэлементов в биохимических и патологических процессах в организме человека, пониманием взаимосвязи биодоступности микроэлементов с другими веществами в рационе и возможностями диагностики дефицита микроэлементов на субклиническом уровне [7,9,38]. Необходимо обновление рекомендаций по потреблению микронутриентов для населения с учетом всех изменений в рационе и с опорой на последние научные исследования [9,10,39].

Систематизированные данные об актуальных нормах суточных физиологических потребностей в минеральных веществах для взрослого населения в разных странах приведены в Таблице 2 [12].

Данные по нормам суточного потребления микроэлементов для населения России представлены с учетом обновленных в 2021 году методических рекомендаций[1].

Исследователи отмечают, что адекватную норму потребления микронутриентов здоровому населению, а также населению с группой ССЗ трудно обеспечить только за счет поступающей в организм пищи [10,12]. В связи с чем важной социальной парадигмой становится разработка и внедрение обогащенных пищевых продуктов для ликвидации недостаточности соответствующих элементов [40,41]. Данный подход не требует изменения традиционной пищевой модели поведения. Анализ трендов пищевого поведения в РФ показал, что большинство населения с диагностированными ССЗ не соблюдают необходимую диету [8,9,10,12].

Направление развития пищевой промышленности в РФ, в частности, определяется Доктриной[2], направленной на разработку обогащенных пищевых продуктов. Дополнительно Рекомендации[3] разъясняют требования к диетотерапии больных с ССЗ. Диета при ССЗ должна характеризоваться сбалансированным макро- и микронутриентым составом и соблюдением персонализированных параметров диеты, основывающейся на лечебных и профилактических и/или специализированных пищевых продуктах [7,10,11,12] для восполнения дефицита микронутриентов у пациентов. Очевидно, что востребованность функциональных, обогащенных продуктов для населения в целом и для определенных групп, включая пациентов с ССЗ, высокая, и продолжает расти.

Вследствие использования новых технологий при производстве пищевых продуктов значительно расширился ассортимент обогащенных витаминами и минеральными веществами продуктов питания. За последние несколько десятилетий на рынке существенно возросло количество пищевых продуктов, обогащенных как витаминами, так и минеральными веществами, что актуализирует необходимость своевременного пересмотра и обновления параметров безопасности продуктов питания [25,27].

В соответствии с требованиями РФ к пищевым продуктам по Нормам[4], показатель содержания минеральных веществ в обогащенных продуктах должен быть в рамках 15–50% от нормы физиологической потребности человека. Известно об утвержденных нормах отклонений фактического содержания магния в обогащенных пищевых продуктах, что составляет +/-20%, при этом для цинка и меди такие нормы не указываются.

Распространенным способом улучшения качества сырья и готовой продукции является включение комплексов пищевых добавок, в том числе для сохранения макро- и микронутриентного состава. Объем потребления подобных пищевых добавок уже измеряется килограммами в расчете на одного взрослого человека в год. Однако вопрос эффективности и безопасности такого подхода восполнения дефицита микронутриентов остается дискутабельным среди медицинского сообщества и диетологов. Доминирующая часть пищевых добавок имеет искусственное происхождение и ассоциируются с большими рисками для здоровья при длительном употреблении, по сравнению с добавками, произведенными из натурального сырья. В случае использования комбинаций различных пищевых добавок комплексное изучение образующихся соединений в получаемом продукте, а также исследования биодоступности отдельных микронутриентов при совместном употреблении проводятся крайне редко [42].

В Нормах[5] регламентируется возможность обогащения пищевых продуктов магнием, данные о возможности обогащения пищевых продуктов цинком отсутствуют. При этом, в отличие от ЕС, США и ряда других стран, допускается обогащение медью только таких специализированных пищевых продуктов, как продукты для питания спортсменов, функциональные пищевые продукты и продукты детского питания, диетического (лечебного и профилактического) профиля, а также биологически активные добавки к пище [14,17,29–31]. К пищевым продуктам, разрешенным для обогащения магнием, относятся только группа пищевых концентратов, кондитерские изделия и соль поваренная пищевая. При этом немаловажным вопросом является своевременная актуализация требований СанПиН, касающихся допустимых норм внесения микронутриентов в пищевые продукты [42].

Одним из возможных перспективных способов решения проблемы восполнения дефицита микронутриентов является разработка новых функциональных пищевых продуктов. Во многих странах активно ведутся исследования и разработка функциональных продуктов, которые создаются для профилактики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний. Ожидается рост востребованности таких продуктов, что будет являться вызовом для мировой пищевой промышленности [43]. В последние годы выделилось отдельное направление медицины, кардионутрициология, которая, объединяя научные и практические знания в области кардиологии, диетологии, биохимии, микробиологии и других областей, является подтверждением перспективности и актуальности персонализированного подхода в диетотерапии сердечно-сосудистой патологии [44–46].

[1] Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия. Электронный ресурс https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/789/1.-mr-2.3.1.0253_21-normy-pishchevykh-veshchestv.pdf Дата доступа 18.03.2023

[2] Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации и «Стратегия повышения качества пищевой продукции в РФ до 2030 г.» (утверждена распоряжением Правительства РФ от 29.06.2016 № 1364-р) Электронный ресурс https://docs.cntd.ru/document/420363999 Дата доступа 25.03.2023

[3] Методические рекомендации № 374-ПД/624 «Диетическая терапия при сердечно-сосудистых заболеваниях». Утверждены Минсоцздравразвития 28.12.2006 г. Электронный ресурс https://e-ecolog.ru/docs/_zkxxwA5cKA0ulc4K-RZuy Дата доступа 25.03.2023

[4] Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078–01. «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» Электронный ресурс https://docs.cntd.ru/document/901806306 Дата доступа 25.03.2023

[5] Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078–01. «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» Электронный ресурс https://docs.cntd.ru/document/901806306 Дата доступа 25.03.2023

Орехи как натуральный продукт с оптимальным содержанием микронутриентов обладают подтвержденными преимуществами для создания функциональных продуктов, используемых при ССЗ. Крупные исследования, такие как *Nurses' Health Study u Physicians Health Study*, продемонстрировали положительное влияние включения в рацион орехов на показатель общей смертности [48,49]. Как пример, употребление грецких орехов в профилактических целях не только восполняет суточную потребность в микронутриентах, но и способствует снижению уровня липопротеидов низкой плотности в сыворотке крови [50,51]. Использование различных форм переработки орехов может способствовать разработке новых функциональных продуктов для диетотерапии при ССЗ.

Таким образом, очевидна необходимость дальнейшего изучения методов и подходов обогащения пищевых продуктов с использованием натурального сырья для создания комплексной поддержки населения, включая диетотерапию при сердечно-сосудистых заболеваниях.

4. Выводы

Сердечно-сосудистые заболевания сохраняют доминирующую долю диагностированных случаев в структуре заболеваемости и смертности населения РФ, в том числе трудоспособного возраста. Обеспечить адекватный микронутриентный статус населения РФ представляется возможным путем включения в рацион питания необходимых микронутриентов. При этом усредненный рацион питания населения не обеспечивает достаточного поступления макро- и микронутриентов без значительного увеличения оптимальной суточной калорийности.

Диетическая поддержка является ключевым модифицируемым фактором, позволяющим влиять на течение сердечно-сосудистого заболевания. Большая часть больных с диагностированными ССЗ имеют дисбаланс усвоения и/или выведения некоторых микроэлементов, в том числе магния, цинка и меди, что актуализирует целесообразность разработки, производства и потребления обогащенных пищевых продуктов для персонализированной диетотерапии. Такие разработки должны учитывать данные исследований *in vivo u in vitro* по установлению взаимосвязей между поступлением в организм ряда микронутриентов и риском развития ССЗ, а также характером их протекания.

Среднесрочная оптимизация и перспективная диверсификация пищевого рациона населения страны, включая разработку и внедрение функциональных продуктов с использованием натурального сырья для профилактики и диетотерапии социально значимых заболеваний, являются одними из главных задач пищевой промышленности в России и согласуются с общемировыми тенденциями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Altamura, S., Del Pinto, R., Pietropaoli, D., Ferri, C. (2023). Oral health as a modifiable risk factor for cardiovascular diseases. *Trends in Cardiovascular Medicine*, https://doi.org/10.1016/j.tcm.2023.03.003 (In Press)
2. Peng, G., Jialong Y., Chen L., Li, L. (2023). Glycometabolism reprogramming: Implications for cardiovascular diseases. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 179, 26–37. https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2023.03.003
3. Кочеткова, А. А., Воробьева, В. М., Воробьева, И. С., Саркисян, В. А., Зорина, Е. Е., Шатнюк, Л. Н. и др. (2016). Теоретические и практические аспекты разработки специализированных пищевых продуктов для диетотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях. *Пищевая промышленность*, 8, 8–12.
4. Погожева, А. В., Богданов, А. Р., Дербенева, С. А. (2015). Диетотерапия сердечно-сосудистых заболеваний. Общие принципы. *Практическая диетология*, 4(16), 36–40.
5. Liese, A. D., Krebs-Smith, S. M., Subar, A. F., George, S. M., Harmon, B. E., Neuhouser, M. L. et al. (2015). The dietary patterns methods project: Synthesis of findings across cohorts and relevance to dietary guidance. *The Journal of Nutrition*, 145(3), 393–402. https://doi.org/10.3945/jn.114.205336
6. Qin, P., Huang, C., Jiang, B., Wang, X., Yang, Y., Ma, J. et al. (2021). Dietary carbohydrate quantity and quality and risk of cardiovascular disease, all-cause, cardiovascular and cancer mortality: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition*, 42(2), 148–165. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.12.010
7. Дербенева, С. А., Погожева, А. В., Воробьева, В. М., Залетова, Т. С., Котенкова, Е. А., Кочеткова, А. А. и др. (2021). Применение специализированных пищевых продуктов в диетотерапии больных с кардиоваскулярной патологией. Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, 2021.
8. Коденцова, В. М., Вржесинская, О. А., Рисник, Д. В., Никитюк, Д. Б., Тутельян, В. А. (2017). Обеспеченность населения России микронутриентамии возможности ее коррекции. Состояние проблемы. *Вопросы питания*, 86(4), 113–124.
9. Коденцова, В. М., Рисник, Д. В. (2020). Микронутриентные метаболические сети и множественный дефицит микронутриентов: обоснование преимуществ витаминно-минеральных комплексов. *Микроэлементы в медицине*, 21(4), 3–20. https://doi.org/10.19112/2413-6174-2020-21-4-3-20
10. Барановский, А. Ю. (2015). Диеты для сердца. *Практическая диетология*, 4(16), 42–59.
11. Kang, Y. J. (2011). Copper and homocysteine in cardiovascular diseases. *Pharmacology & Therapeutics*, 129(3), 321–331. https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2010.11.004
12. Попова, А. Ю., Тутельян, В. А., Никитюк, Д. Б. (2021). О новых (2021) нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. *Вопросы питания*, 90(4(536)), 6–19. https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19
13. Threapleton, D. E., Greenwood, D. C., Evans, C. E. L., Cleghorn, C. L., Nykjaer, C., Woodhead, C. et al. (2013). Dietary fibre intake and risk of cardiovascular disease: Systematic review and meta-analysis. *BMJ,* 347, Article f6879. https://doi.org/10.1136/bmj.f6879
14. Ahmadmehrabi, S. A., Tang, W. H. W. (2017). Gut microbiome and its role in cardiovascular diseases. *Current Opinion in Cardiology*, 32(6), 761–766. https://doi.org/10.1097/HCO.0000000000000445
15. Zhang, Z., Xu, G., Liu, D., Zhu, W., Fan, X., Liu, X. (2017). Dietary fiber consumption and risk of stroke. *European Journal of Epidemiology*, 28(2), 119–130. https://doi.org/10.1007/s10654-013-9783-1
16. Zhang, X., Gérard, P. (2022). Diet-gut microbiota interactions on cardiovascular disease. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 20, 1528–1540. https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.03.028
17. Kong, X., Zhang, B., Hua, Y., Zhu, Y., Li, W., Wang, D. et al. (2019). Efficient l-lactic acid production from corncob residue using metabolically engineered thermotolerant yeast. *Bioresource Technology*, 273, 220–230. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.018
18. Visseren, F. L. J., Mach, F., Smulders, Y. M., Carballo, D., Koskinas, K. C., Bäck, M. et al. (2021). ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: Developed by the Task Force for cardiovascular disease prevention in clinical practice with representatives of the European Society of Cardiology and 12 medical societies With the special contribution of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *European Heart Journal*, 42(34), 3227–3337. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab484
19. WHO. (2017). Fact sheets. Cardiovascular diseases. Retrieved from https://www.who.int/ru/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1 Accesses January 31, 2023
20. Самородская, И. В., Бубнова, М. Г., Акулова, О. А., Драпкина, О. М. (2022). Показатели мужской и женской смертности от острых форм ишемической болезни сердца в пятилетних возрастных группах в Российской Федерации: о чем говорят цифры? *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, 21(12), Статья 3460. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2022-3460
21. Смелов, П. А., Никитина, С. Ю. (2021). Здравоохранение в России. Статистический сборник. Москва, Росстат, 2021.
22. Houston, M. C. (2010). The role of cellular micronutrient analysis, nutraceuticals, vitamins, antioxidants and minerals in the prevention and treatment of hypertension and cardiovascular disease. *Therapeutic Advances in Cardiovascular Disease*, 4(3), 165–183. https://doi.org/10.1177/1753944710368205
23. Сметнева, Н. С., Погожева, А. В., Васильев, Ю. Л., Дыдыкин, С. С., Дыдыкина, И. С., Коваленко, А. А. (2020). Роль оптимального питания в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний. *Вопросы питания*, 89(3), 114–124. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10035
24. Porciello, G., Montagnese, C., Crispo, A., Grimaldi, M., Libra, M., Vitale, S. et al. (2020). Mediterranean diet and quality of life in women treated for breast cancer: A baseline analysis of DEDiCa multicentre trial. *PLOS ONE*, 15(10), Article e0239803. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239803
25. Galstyan, A. G., Aksenova, L. M., Lisitsyn, A. B., Oganesyants, L. A., Petrov, A. N. (2019). Modern approaches to storage and effective processingof agricultural products for obtaining high quality food products. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 89(2), 211–213. https://doi.org/10.31857/S0869-5873895539-542
26. Хуршудян, С. А., Галстян, А. Г. (2018). Качество пищевых продуктов. Термины, определения и противоречия. *Контроль качества продукции*, 1, 48–49.
27. Донская, Г. А., Харитонов, Д. В. (2016). Продукты завтрашнего дня. *Переработка молока*, 1(195), 16–19.
28. Ших, Е. В., Махова, А. А., Чемерис, А. В., Тормышов, И.А. (2021). Ятрогенные дефициты микронутриентов. *Вопросы питания*, 90(4(536)), 53–63. https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-53-63
29. Xue, M., Wang, D., Zhou, F., Du, Z., Zhai, H., Wang, M. et al. (2020). Effects of selenium combined with zinc amendment on zinc fractions and bioavailability in calcareous soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, Article 110082. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110082
30. Samaras, D., Samaras, N., Lang, P.-O., Genton, L., Frangos, E., Pichard, C. (2013). Effects of widely used drugs on micronutrients: A story rarely told. *Nutrition*, 29(4), 605–610. https://doi.org/10.1016/j.nut.2012.11.011
31. Jurowski, K., Szewczyk, B., Nowak, G., Piekoszewski, W. (2014). Biological consequences of zinc deficiency in the pathomechanisms of selected diseases. *Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 19(7), 1069–1079. https://doi.org/10.1007/s00775-014-1139-0
32. Altarelli, M., Ben-Hamouda, N., Schneider, A., Berger, M. M. (2019). Copper deficiency: Causes, manifestations, and treatment. *Nutrition in Clinical Practice*, 34(4), 504–513. https://doi.org/10.1002/ncp.10328
33. Hoffman, H. N., Phyliky, R. L., Fleming, C. R. (1988). Zinc — induced copper deficiency. *Gastroenterology*, 94(2), 508–512. https://doi.org/10.1016/0016-5085(88)90445-3
34. Gupta, S., Brazier, A. K. M., Lowe, N. M. (2019). Zinc deficiency in low- and middle — income countries: Prevalence and approaches for mitigation. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 33(5), 624–643. https://doi.org/10.1111/jhn.12791
35. Eshak, E. S., Iso, H., Yamagishi, K., Maruyama, K., Umesawa, M., Tamakoshi, A. (2018). Associations between copper and zinc intakes from diet and mor-

tality from cardiovascular disease in a large population-based prospective cohort study. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 56, 126–132. https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2018.02.008
36. Girerd, N. (2022). Is the correction of micronutrient deficiencies the next step in heart failure management? *Journal of Internal Medicine*, 291(6), 710–712. https://doi.org/10.1111/joim.13455
37. Hänsch, R., Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 259–266. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006
38. Петров, А. Н., Кондратенко, В. В. (2018). Инновационный вектор современных технологий хранения, переработки и оценки качества пищевой продукции. *Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*, 21, 9–13. https://doi.org/10.30679/2587–9847–2018–21–9–13
39. Оганесянц, Л. А., Хуршудян, С. А., Галстян А. Г. (2018). Мониторинг качества пищевых продуктов — базовый элемент стратегии. *Контроль качества продукции*, 4, 56–59.
40. Хуршудян, С. А. (2009). Функциональные продукты питания: проблемы на фоне стабильного роста. *Пищевая промышленность*, 1, 8–9.
41. Маюрникова, Л. А., Кокшаров, А. А., Крапива, Т. В, Новоселов, С. В. (2020). Обогащение пищевых продуктов как фактор профилактики микронутриентной недостаточности. *Техника и технология пищевых производств*, 50(1), 124–139. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2020–1–124–139
42. Лисицын, А. Б., Чернуха, И. М., Лунина, О. И. (2018). Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом. *Теория и практика переработки мяса*, 3(1), 29–45. https://doi.org/10.21323/2414–438X-2018–3–1–29–45
43. Azevedo, L., Serafim, M. S. M., Maltarollo, V. G., Grabrucker, A. M., Granato, D. (2022). Atherosclerosis fate in the era of tailored functional foods: Evidence-based guidelines elicited from structure- and ligand — based approaches. *Trends in Food Science & Technology*, 128, 75–89. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.07.010
44. Стародубова, А. В., Ливанцова, Е. Н., Дербенева, С. А., Косюра, С. Д., Поленова, Н. В., Вараева, Ю. Р. (2020). Кардионутрициология: лечебное питание в профилактике и лечении ведущей патологии современности. *Вопросы питания*, 89(4), 146–160. https://doi.org/10.24411/0042–8833–2020–10049
45. Minich, D. M., Bland, J. S. (2013). Personalized lifestyle medicine: Relevance for nutrition and lifestyle recommendations. *The Scientific World Journal*, 2013, Article 129841. https://doi.org/10.1155/2013/129841
46. Ueland, Ø., Altintzoglou, T., Kirkhus, B., Lindberg, D., Rognså, G. H., Rosnes, J. T. et al. (2020). Perspectives on personalised food. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 169–177. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.021
47. Bulló, M., Juanola-Falgarona, M., Hernández-Alonso, P., Salas-Salvadó, J. (2015). Nutrition attributes and health effects of pistachio nuts. *The British Journal of Nutrition,* 113(Suppl 2), S79–S93. https://doi.org/10.1017/S0007114514003250
48. Bao, Y., Han, J., Hu, F. B., Giovannucci, E. L., Stampfer, M. J., Willett, W. C. et al. (2013). Association of nut consumption with total and cause-specific mortality. *The New England Journal of Medicine*, 369(21), 2001–2011. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1307352
49. Hshieh, T. T., Petrone, A. B., Gaziano, J. M., Djoussé, L. (2015). Nut consumption and risk of mortality in the Physicians' Health Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 101(2), 404–412. https://doi.org/10.3945/ajcn.114.099846
50. Sabaté, J., Wien, M. (2010). Nuts, blood lipids and cardiovascular disease. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 19(1), 131–136
51. Ros, E. (2015). Nuts and CVD. *The British Journal of Nutrition*, 113(Suppl 2), S111–S120. https://doi.org/10.1017/S0007114514003924

REFERENCES

1. Altamura, S., Del Pinto, R., Pietropaoli, D., Ferri, C. (2023). Oral health as a modifiable risk factor for cardiovascular diseases. *Trends in Cardiovascular Medicine*, https://doi.org/10.1016/j.tcm.2023.03.003 (In Press)
2. Peng, G., Jialong Y., Chen L., Li, L. (2023). Glycometabolism reprogramming: Implications for cardiovascular diseases. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 179, 26–37. https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2023.03.003
3. Kochetkova, A. A., Vorobieva, V. M., Vorobieva, I. S., Sarkisyan, V. A., Zorina, E. E., Shatnyuk, L. N. et al. (2016). Theoretical and practical aspects of the specialized food for diet therapy in cardiovascular diseases development. *Food Industry*, 8, 8–12. (In Russian)
4. Pogozheva, A. V., Bogdanov, A. R., Derbeneva, S. A. (2015). Diyetoterapiya serdechno-sosudistykh zabolevaniy. Obshchiye printsipy. *Prakticheskaya Diyetologiya*, 4(16), 36–40. (In Russian)
5. Liese, A. D., Krebs-Smith, S. M., Subar, A. F., George, S. M., Harmon, B. E., Neuhouser, M. L. et al. (2015). The dietary patterns methods project: Synthesis of findings across cohorts and relevance to dietary guidance. *The Journal of Nutrition*, 145(3), 393–402. https://doi.org/10.3945/jn.114.205336
6. Qin, P., Huang, C., Jiang, B., Wang, X., Yang, Y., Ma, J. et al. (2021). Dietary carbohydrate quantity and quality and risk of cardiovascular disease, all-cause, cardiovascular and cancer mortality: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition*, 42(2), 148–165. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.12.010
7. Derbeneva, S. A., Pogozheva, A. V., Vorobieva, V. M., Zaletova, T. S., Kotenkova, E. A., Kochetkova, A. A. et al. (2021). The use of specialized food products in the diet therapy of patients with cardiovascular pathology. Saint Petersburg: Science-intensive Technologies, 2021.
8. Kodentsova, V.M., Vrzhesinskaya, O.A., Risnik, D.V., Nikityuk, D.B., Tutelyan, V.A. (2017). Micronutrient status of population of the russian federation and possibility of its correction. State of the problem. *Voprosy Pitaniia*, 86(4), 113–24. (In Russian)
9. Kodentsova, V. M., Risnik, D. V. (2020). Micronutrient metabolic networks and multiple micronutrient deficiency: A rationale for the advantages of vitamin-mineral supplements. *Trace Elements in Medicine (Moscow)*, 21(4), 3–20. https://doi.org/ 10.19112/2413–6174–2020–21–4–3–20 (In Russian)
10. Baranovsky, A. Yu. (2015). Diets for the heart. *Prakticheskaya Diyetologiya*, 4(16), 42–59. (In Russian)
11. Kang, Y.J. (2011). Copper and homocysteine in cardiovascular diseases. *Pharmacology & Therapeutics*, 129(3), 321–331. https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2010.11.004
12. Popova, AYu., Tutelyan, V.A., Nikityuk, D.B. (2021). On the new (2021) norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. *Voprosy Pitaniia,* 90(4(536)), 6–19. https://doi.org/10.33029/0042–8833–2021–90–4–6–19 (In Russian)
13. Threapleton, D. E., Greenwood, D. C., Evans, C. E. L., Cleghorn, C. L., Nykjaer, C., Woodhead, C. et al. (2013). Dietary fibre intake and risk of cardiovascular disease: Systematic review and meta-analysis. *BMJ,* 347, Article f6879. https://doi.org/10.1136/bmj.f6879
14. Ahmadmehrabi, S.A., Tang, W.H.W. (2017). Gut microbiome and its role in cardiovascular diseases. *Current Opinion in Cardiology*, 32(6), 761–766. https://doi.org/10.1097/HCO.0000000000000445
15. Zhang, Z., Xu, G., Liu, D., Zhu, W., Fan, X., Liu, X. (2017). Dietary fiber consumption and risk of stroke. *European Journal of Epidemiology*, 28(2), 119–130. https://doi.org/10.1007/s10654–013–9783–1
16. Zhang, X., Gérard, P. (2022). Diet-gut microbiota interactions on cardiovascular disease. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 20, 1528–1540. https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.03.028
17. Kong, X., Zhang, B., Hua, Y., Zhu, Y., Li, W., Wang, D. et al. (2019). Efficient l-lactic acid production from corncob residue using metabolically engineered thermotolerant yeast. *Bioresource Technology*, 273, 220–230. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.018
18. Visseren, F.L.J., Mach, F., Smulders, Y.M., Carballo, D., Koskinas, K.C., Bäck, M. et al. (2021). ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: Developed by the Task Force for cardiovascular disease prevention in clinical practice with representatives of the European Society of Cardiology and 12 medical societies With the special contribution of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *European Heart Journal*, 42(34), 3227–3337. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab484
19. WHO. (2017). Fact sheets. Cardiovascular diseases. Retrieved from https://www.who.int/ru/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1 Accesses January 31, 2023
20. Samorodskaya, I.V., Bubnova, M.G., Akulova, O.A., Drapkina, O.M. (2022). Male and female mortality rates due to acute types of coronary artery disease in five-year age groups in the Russian Federation: what do the numbers mean? *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 21(12), Article 3460. https://doi.org/10.15829/1728–8800–2022–3460 (In Russian)
21. Smelov, P.A., Nikitina, S. Yu. (2021). Health care in Russia. Statistical collection. Moscow: Rosstat, 2021.
22. Houston M. C. (2010). The role of cellular micronutrient analysis, nutraceuticals, vitamins, antioxidants and minerals in the prevention and treatment of hypertension and cardiovascular disease. *Therapeutic Advances in Cardiovascular Disease*, 4(3), 165–183. https://doi.org/10.1177/1753944710368205
23. Smetneva, N.S., Pogozheva, A.V., Vasil'ev, Yu. L., Dydykin, S.S., Dydykina, I.S., Kovalenko, A.A. (2020). The role of optimal nutrition in the prevention of cardiovascular diseases. *Voprosy Pitaniia,* 89(3), 114–24. https://doi.org/10.24411/0042–8833–2020–10035 (In Russian)
24. Porciello, G., Montagnese, C., Crispo, A., Grimaldi, M., Libra, M., Vitale, S. et al. (2020). Mediterranean diet and quality of life in women treated for breast cancer: A baseline analysis of DEDiCa multicentre trial. *PLOS ONE*, 15(10), Article e0239803. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239803
25. Galstyan, A.G., Aksenova, L.M., Lisitsyn, A.B., Oganesyants, L.A., Petrov, A.N. (2019). Modern approaches to storage and effective processingof agricultural products for obtaining high quality food products. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 89(2), 211–213. https://doi.org/10.31857/S0869–5873895539–542
26. Khurshudyan, S.A., Galstyan, A.G. (2018). Food quality. Terms, definitions and contradictions. *Product Quality Control*, 1, 48–49. (In Russian)
27. Donskaya, G.A., Kharitonov, D.V. (2016). Products of tomorrow. *Milk Processing*, 1(195), 16–19. (In Russian)
28. Shikh, E.V., Makhova, A.A., Chemeris, A.V., Tormyshov, I.A. (2021). Iatrogenic deficits of micronutrients. *Voprosy Pitaniia*, 90(4(536)), 53–63. https://doi.org/10.33029/0042–8833–2021–90–4–53–63 (In Russian)
29. Xue, M., Wang, D., Zhou, F., Du, Z., Zhai, H., Wang, M. et al. (2020). Effects of selenium combined with zinc amendment on zinc fractions and bioavailability in calcareous soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, Article 110082. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110082
30. Samaras, D., Samaras, N., Lang, P.-O., Genton, L., Frangos, E., Pichard, C. (2013). Effects of widely used drugs on micronutrients: A story rarely told. *Nutrition*, 29(4), 605–610. https://doi.org/10.1016/j.nut.2012.11.011
31. Jurowski, K., Szewczyk, B., Nowak, G., Piekoszewski, W. (2014). Biological consequences of zinc deficiency in the pathomechanisms of selected diseases. *Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 19(7), 1069–1079. https://doi.org/10.1007/s00775–014–1139–0
32. Altarelli, M., Ben-Hamouda, N., Schneider, A., Berger, M. M. (2019). Copper deficiency: Causes, manifestations, and treatment. *Nutrition in Clinical Practice*, 34(4), 504–513. https://doi.org/10.1002/ncp.10328
33. Hoffman, H. N., Phyliky, R. L., Fleming, C. R. (1988). Zinc — induced copper deficiency. *Gastroenterology*, 94(2), 508–512. https://doi.org/10.1016/0016–5085(88)90445–3
34. Gupta, S., Brazier, A. K. M., Lowe, N. M. (2019). Zinc deficiency in low- and middlec- income countries: Prevalence and approaches for mitigation. *Journal*

of Human Nutrition and Dietetics, 33(5), 624–643. https://doi.org/10.1111/jhn.12791
35. Eshak, E.S., Iso, H., Yamagishi, K., Maruyama, K., Umesawa, M., Akiko Tamakoshi, A. (2018). Associations between copper and zinc intakes from diet and mortality from cardiovascular disease in a large population-based prospective cohort study. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 56, 126–132. https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2018.02.008
36. Girerd, N. (2022). Is the correction of micronutrient deficiencies the next step in heart failure management? *Journal of Internal Medicine*, 291(6), 710–712. https://doi.org/10.1111/joim.13455
37. Hänsch, R., Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 259–266. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006
38. Petrov, A. N., Kondratenko, V. V. (2018). Innovative vector of modern technologies of storage, processing and evaluation of food products quality. *Scientific works of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking*, 21, 9–13. https://doi.org/10.30679/2587–9847–2018–21–9–13 (In Russian)
39. Oganesyants, L. A., Khurshudyan, S. A., Galstyan, A. G. (2018). Monitoring the quality of food products — a basic element of the strategy. *Quality Control of Products*, 4, 56–59. (In Russian)
40. Khurshudyan, S. A. (2009). Functional foods: Problems amid steady growth. *Food Industry*, 1, 8–9. (In Russian)
41. Mayurnikova, L.A., Koksharov, A.A., Krapiva, T.V., Novoselov S. V. (2020). Food fortification as a preventive factor of micronutrient deficiency. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(1), 124–139. https://doi. org/10.21603/2074–9414–2020–1–124–139 (In Russian)
42. Lisitsyn, A.B., Chernukha, I.M., Lunina, O.I. (2018). Modern trends in the development of the functional food industry in Russia and abroad. *Theory and Practice of Meat Processing*, 3(1), 29–45. https:// doi.org/10.21323/2414–438X-2018–3–1–29–45 (In Russian)
43. Azevedo, L., Serafim, M.S.M., Maltarollo, V.G., Grabrucker, A.M., Granato, D. (2022). Atherosclerosis fate in the era of tailored functional foods: Evidence-based guidelines elicited from structure- and ligand-based approaches. *Trends in Food Science & Technology*, 128, 75–89. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.07.010
44. Starodubova, A.V., Livantsova, E.N., Derbeneva, S.A., Kosyura, S.D., Polenova, N.V., Varaeva, Yu.R. (2020). Cardiovascular nutrition: Disease management and prevention as major public health problem nowadays. *Voprosy Pitaniia,* 89(4), 146–160. https://doi.org/10.24411/0042–8833–2020–10049 (In Russian)
45. Minich, D.M., Bland, J.S. (2013). Personalized lifestyle medicine: Relevance for nutrition and lifestyle recommendations. *The Scientific World Journal*, 2013, Article 129841. https://doi.org/10.1155/2013/129841
46. Ueland, Ø., Altintzoglou, T., Kirkhus, B., Lindberg, D., Rognså, G.H., Rosnes, J.T. et al. (2020). Perspectives on personalised food. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 169–177. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.021
47. Bulló, M., Juanola-Falgarona, M., Hernández-Alonso, P., Salas-Salvadó, J. (2015). Nutrition attributes and health effects of pistachio nuts. *The British Journal of Nutrition,* 113(Suppl 2), S79–S93. https://doi.org/10.1017/S0007114514003250
48. Bao, Y., Han, J., Hu, F.B., Giovannucci, E. L., Stampfer, M. J., Willett, W. C. et al. (2013). Association of nut consumption with total and cause-specific mortality. *The New England Journal of Medicine*, 369(21), 2001–11. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1307352
49. Hshieh, T. T., Petrone, A. B., Gaziano, J. M., Djoussé, L. (2015). Nut consumption and risk of mortality in the Physicians' Health Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 101(2), 407–412. https://doi.org/10.3945/ajcn.114.099846
50. Sabaté, J., Wien, M. (2010). Nuts, blood lipids and cardiovascular disease. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 19(1), 131–136.
51. Ros, E. (2015). Nuts and CVD. *The British Journal of Nutrition*, 113(Suppl 2), S111–S120. https://doi.org/10.1017/S0007114514003924

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Яшин Алексей Николаевич — аспирант, кафедра «Технологии молока, пробиотических молочных продуктов и сыроделия», Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел.: +7–913–903–08–55 E-mail: yashin.doc@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0009–0006–9789–4267 * автор для контактов	**Alexey N. Yashin,** Postgraduate Student, Department of Technology of Milk, Probiotic Dairy Products and Cheese Making, Russian Biotechnological University 11, Volokolamsk Highway, 125080, Moscow, Russia Tel.: +7–913–903–08–55 E-mail: yashin.doc@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0009–0006–9789–4267 *corresponding author
Петров Андрей Николаевич — доктор технических наук, академик РАН, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности 115093, Москва, ул. Люсиновская, 35/7 Тел.: +7–499–236–31–64 E-mail: info@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000–0001–9879–482X	**Andrey N. Petrov**, Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Principal Researcher, Russian Dairy Research Institute 35/7, Lusinovskaya Str., Москва, 115093, Russia Tel.: +7–499–236–31–64 E-mail: info@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000–0001–9879–482X
Критерии авторства	**Contribution**
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-279-282

Received 20.05.2023
Accepted in revised 18.07.2023
Accepted for publication 25.07.2023
© Ammar A. S. M., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Review article
Open access

NUTRITIONAL CONTENTS OF LOW PHENYLALANINE DIETS: A MINI REVIEW

Abdalla S. M. Ammar

Food Science and Technology Department, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza, Egypt

KEY WORDS:
phenylketonuria, phenylalanine, patients, aspartame, diet

ABSTRACT

Increased interest in the utilization of nutrition management of patients with phenylketonuria is clear. Applications include a small measured amount of phenylalanine given in the form of exchange food, phenylalanine-free protein substitute and low phenylalanine foods. In this article, the essential nutritional contents of low phenylalanine diets and the latest techniques and procedures used for creating several types of low phenylalanine diets from different food sources for persons with phenylketonuria are reviewed. The principles of these methods are described. Most of the techniques and procedures employed to remove Phe from the protein hydrolysate are based on the liberation of the amino acid using enzymatic hydrolysis. Free Phe is then removed via adsorption. Therefore, knowing the phenylalanine (Phe) content of foods as well as principles of procedures and techniques used for creating low Phe diets is very important for managing the diet of patients with phenylketonuria. Allowed foods and foods that should be avoided by persons with phenylketonuria are mentioned. Low Phe cereal based foods (i. e. toast bread, pasta, shamy bread, pan bread and rice) and dairy based foods are also considered. The US FDA regulation of aspartame labeling is also stated.

Поступила 20.05.2023
Поступила после рецензирования 18.07.2023
Принята в печать 25.07.2023
© Аммар А. С. М., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Обзорная статья
Open access

ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ ДИЕТ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ФЕНИЛАЛАНИНА: МИНИ-ОБЗОР

Аммар А. С. М.

Каирский Университет, Гиза, Египет

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
фенилкетонурия, фенилаланин, пациенты, аспартам, диета

АННОТАЦИЯ

Повышенный интерес к применению управления питанием пациентов с фенилкетонурией очевиден. Примеры использования включают небольшие определенные количества фенилаланина, поступающего в виде «обменных» пищевых продуктов, не содержащую фенилаланин белковую замену и пищевые продукты с низким содержанием фенилаланина. В данной статье сделан обзор содержания важных компонентов диет с низким содержанием фенилаланина и самых современных методов и процедур, используемых для создания нескольких видов диет с низким содержанием фенилаланина из различных пищевых источников для лиц с фенилкетонурией. Описаны принципы этих методов. Большинство методов и процедур, применяемых для удаления Phe из белкового гидролизата, основано на высвобождении аминокислоты, используя ферментативный гидролиз. Свободный Phe затем удаляется путем адсорбции. Таким образом, знание содержания фенилаланина в пищевых продуктах, а также принципов методов и процедур, применяемых для создания диет с низким содержанием фенилаланина, очень важно для управления диетой для пациентов с фенилкетонурией. Перечислены разрешенные пищевые продукты и продукты, употребления которых следует избегать пациентам с фенилкетонурией. Также рассмотрены пищевые продукты на основе зерновых (т. е. хлеб для тостов, макаронные изделия, пита, формовой хлеб и рис) и молочные продукты. Также сообщается о регулировании US FDA маркировки аспартама.

1. Introduction

Phenylketonuria (PKU) disorder is caused by deficiency of phenylalanine hydroxylase (PAH, EC1.14.16.1) enzyme required to break down an amino acid called phenylalanine (Phe) and consequently leads to accumulation of Phe (Figure 1) in organs and blood of patients [1,2,3]. The prevalence of PKU in the world is 1:10,000 [1], while the incidence rate of PKU is 1:125,000 in Japan [4], 1:7,500 in Egypt [5,6], 1:116,006 in Philippines [7], 1:223,735 in Thailand [8], 1:83,333 in Singapore [9], 1:15,924 in China [10] and 1:4,500 in Ireland and Western Scotland [11]. Van Calcar and Ney [12] described the PKU symptoms as follows: an off-odor, nervous system problems, intellectual disability, delayed development, social and mental problems. For seven decades, the world has depended on the healing power of medical foods (i. e. food formulations intended for dietary management of PKU patients). The nutritional, biochemical and clinical follow-up of persons with PKU requires inspection of the body mass index, nutrient deficiency signs, intake of nutrients and biomarkers [13]. Zaky et al. [14] reported that early diagnosis of phenylketonuria and the use of a Phe-restricted diet lead to avoiding growth problems. A Phe-restricted diet is a phenylalanine-free amino acid containing formula enriched with minerals, vitamins, fatty acids and tyrosine [15].

The nutritional treatment for PKU depends on decreasing protein ingestion and reducing Phe supply to cover the minimum dietary intakes of PKU persons [16]. Children with PKU can tolerate up to 500 mg Phe per day [1, 17]. PKU persons who eat diets that contain protein or aspartame (an artificial sweetener composed of phenylalanine and aspartic acid) may have health problems. Therefore, these persons need to follow free or low Phe diets. Yaseen and Shouk [18] stated that diets low in Phe contain one of the following three parts: a small measured amount of phenylalanine given in the form of exchange food, protein substitute that includes all non-phenylalanine amino acids (i. e. amino acids powder, liquid, tablets, bars and capsules) and low phenylalanine foods (Figure 2) that can be eaten without restriction (i. e. jams, jellies, honey, sugar, vegetable oil, butter, spices, starches and aspartame free drinks). On the other hand, foods containing a high percentage of Phe must be avoided. Such foods include meat and meat products, milk and milk products, legumes and legume products, cereals and cereal products. MacDonald et al. [19] suggested that fruits and vegetables containing 51–75 mg Phe/100 g cause no problem for persons with PKU. Guimarães and Lanfer-Marquez [20] found some dried soups low in Phe that can potentially be used as food choice for persons with phenylketonuria.

FOR CITATION: **Ammar, A. S. M.** (2023). Nutritional contents of low phenylalanine diets: A mini review. *Food Systems*, 6(3), 279-282. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-279-282

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Аммар, А. С. М.** (2023). Пищевая ценность диет с низким содержанием фенилаланина: мини-обзор. *Пищевые системы*, 6(3), 279-282. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-279-282

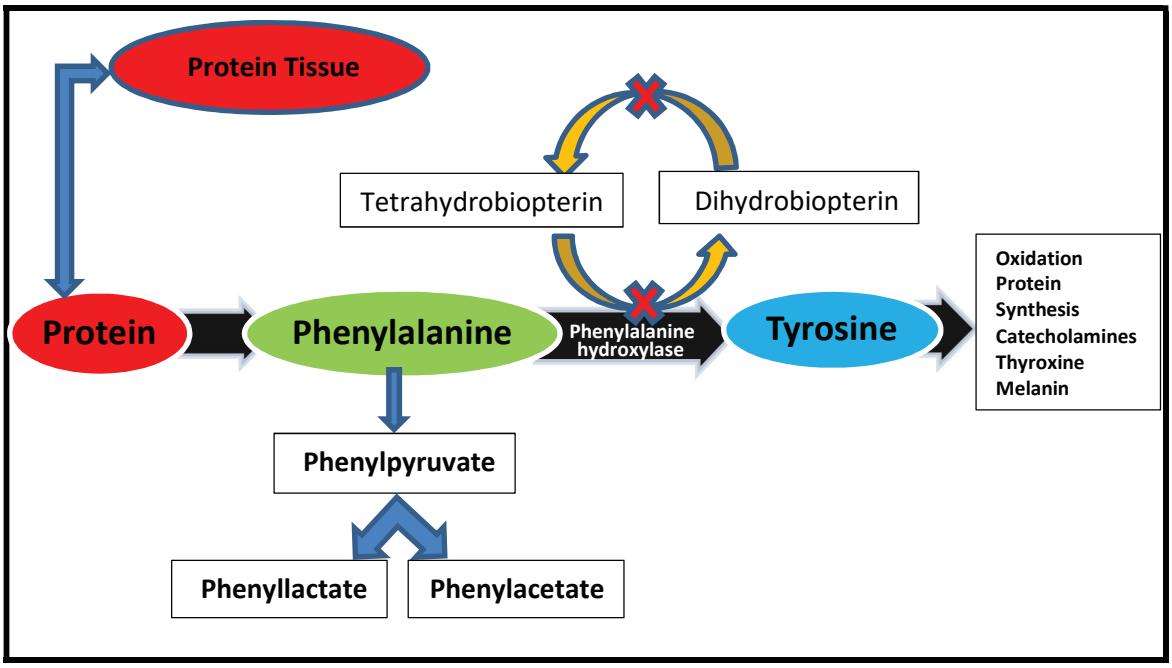


Figure 1. **Metabolism of phenylalanine in phenylketonuria patients**
Рисунок 1. **Метаболизм фенилаланина у пациентов с фенилкетонурией**

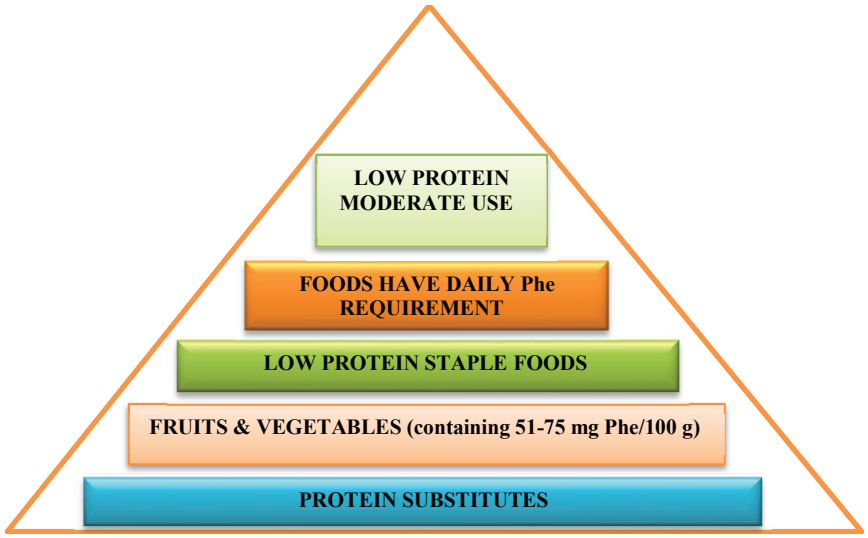


Figure 2. **Food hierarchy for PKU patients**
Рисунок 2. **Иерархия пищевых продуктов у пациентов с фенилкетонурией**

Many researchers have designed a lot of low phenylalanine diets by selecting different ingredients low in protein, i. e. gums, starch, cellulose derivatives. Ozboy [21] used corn starch, emulsifier, xanthan and carrageenan for preparing low phenylalanine corn starch-gum bread for PKU persons. On the other hand, these diets may be of low sensory quality, expensive, deficient in some important nutrients and have short shelf life [22]. Based on the above-mentioned considerations, this article briefly reviews the nutritional contents of PKU diets from either cereal or dairy based foods, and procedures and techniques used for creating low Phe diets.

2. Low phenylalanine cereal based products preparation

Gluten accounts for 85% of wheat proteins and is composed of gliadin and glutenin fractions. Gliadin fraction is rich in phenylalanine. The separation of gliadin from wheat flour leads to reduction of the Phe content by 43.2% in the final product compared to the control [23]. Gliadin was separated (de-gliadin) using propanol to reduce the phenylalanine content in bread and pasta [11]. Table 1 summarizes formulas of low phenylalanine cereal based products such as pan bread, toast bread, Egyptian shamy bread, pasta and low Phe rice.

Table 1. **Formulas of low phenylalanine cereal based products**
Таблица 1. **Рецептуры продуктов на основе зерновых с низким содержанием фенилаланина**

Ingredients	Food products	References
Wheat flour (72%), corn starch, pectin, carboxymethyl cellulose (CMC), yeast, NaCl and water	Pan bread	[24]
Wheat flour (72%), corn starch, pectin, CMC and water	Pasta	[25]
Low protein flour (1st break wheat flour), corn starch, pectin, CMC, yeast, NaCl and water	Egyptian shamy bread	[18]
Gliadin-free wheat flour, pectin, Arabic gum or CMC, yeast, NaCl and water	Toast bread	[23]
De-gliadin wheat flour, pectin, CMC, Arabic gum and water	Pasta	[11]
Rice	Low Phe rice	[26]

3. Low phenylalanine dairy based products preparation

Also, many researchers have prepared low phenylalanine dairy products for PKU people as shown in Table 2. Silva et al. [16] employed an immobilization technique using papain and pancreatin enzymes on activated carbon and alumina to produce low Phe whey for PKU patients. Hassanpour et al. [27] produced low Phe milk formula that imitates human milk for phenylketonuria infants. The produced milk formula contained suitable amounts of essential amino acids and vitamins.

Table 2. **Low phenylalanine dairy products**

Таблица 2. **Молочные продукты с низким содержанием фенилаланина**

Ingredients	Dairy products	References
Whey hydrolysate	Low Phe whey	[16, 28]
Whey protein glycomacropeptide (GMP)	Low Phe whey	[12, 29]
Milk formula	Low Phe milk	[27]
Skim milk hydrolysate	Low Phe skim milk	[30]

4. Procedures and techniques used for creating low phenylalanine diets and foods

Several techniques and procedures were used by many researchers to create different types of PKU diets. Most of the procedures employed to remove Phe from protein hydrolysate are based on the liberation of the amino acid via enzymatic hydrolysis. Liberated Phe is then removed using activated carbon or resin (adsorption) or by gel filtration. The procedures and techniques are presented in Table 3.

5. Regulations

The incidence of PKU varies across the world and PKU management differs widely from country to country. In addition, the nutritional status of patients is different depending on the severity of PKU and treatment type [13,32]. The same authors suggested that European guidelines based on the Appraisal of Guidelines for Research and Evaluation (AGREE) and Scottish Intercollegiate Guidelines Network (SIGN) procedures must be used as PKU management in all European Union countries. In the USA, the US FDA [33] is involved in the regulation of aspartame (composed of phenylalanine and aspartic acid). Aspartame is used as a sweet tasting substance, which is 180 times as sweet as sucrose. The package labeling and other labeling must contain precautions statement for phenylketonurics: Contains Phenylalanine.

6. Conclusion

The above findings may be useful for nutritionists, dietitians and physicians in knowing, preparing, designing and nutrition management of patients with phenylketonuria. This review offers various food choices for persons with phenylketonuria and several procedures and techniques for creating diets low in Phe. In the coming decade, efforts and studies must be continued to find more food choices and procedures to prepare foods for phenylketonurics.

Table 3. **Procedures and techniques used for creating low phenylalanine diets and foods**

Таблица 3. **Процедуры и методы, используемые для создания рационов и пищевых продуктов с низким содержанием фенилаланина**

Food or food ingredients	Procedure	References
De-gliadin wheat flour	Extraction of gliadin using 55% (v/v) 1-propanol at room temperature	[23]
Low protein flour	1st break flour using flour mills	[25]
Low Phe whey hydrolysate	Enzymatic hydrolysis and resin adsorbent	[28]
Low Phe whey hydrolysate	Enzyme immobilization technology and activated carbon	[16]
Low Phe whey protein	Whey protein glycomacropeptide (GMP)	[12]
Low Phe milk	Formulation (human milk analogue)	[27]
Low Phe beans	A protease and activated carbon as Phe adsorbent	[31]
Low Phe rice	Papain and activated carbon	[26]
Low Phe skim milk	Papain and pepsin, and activated carbon	[30]

REFERENCES/БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hendriksz, C.J., Walter, J.H. (2004). Update on phenylketonuria. *Current Paediatrics,* 14(5), 400–406. https://doi.org/10.1016/j.cupe.2004.05.003
2. Sirtori, L.R., Dutra-Filho, C.S., Fitarelli, D., Sitta, A., Haeser, A., A G Barschak, A.G. et al. (2005). Oxidative stress in patients with phenylketonuria. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Molecular Basis of Disease,* 1740(1), 68–73. https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2005.02.005
3. Flydal, M. I., Martinez, A. (2013). Phenylalanine hydroxylase: function, structure, and regulation. *IUBMB Life,* 65(4), 341–349. https://doi.org/10.1002/iub.1150
4. Okano, Y., Hase, Y., Lee, D.-H., Furuyama, J.-I., Shintaku, H., Oura, T. et al. (1992). Frequency and distribution of phenylketonuric mutations in Orientals. *Human Mutation,* 1(3), 216–220. https://doi.org/10.1002/humu.1380010307
5. Shawky, R.M., Elhawary, N.A., Elsayed, S.M., Abdel-Hamid, H., Elsedfy, H.H. (2006). Updated listing of mutation map at the human phenylalanine locus among Egyptian population. *The Egyptian Journal of Medical Human Genetics,* 7, 15–22.
6. Effat, L.K., Essawi, M.L., Abd El Hamid, M.S., Hawary, N., Gad, Y.Z. (2008). Screening for six Mediterranean mutation in 90 Egyptians patients with phenylketonuria. *Bratislava Medical Journal — Bratislavske Lekarske Listy,* 109(1), 17–19.
7. Silao, C.L.T., Canson, D.M., Hernandez, K.N., Chiong, M.A.D., Capistrano-Estrada, S., David-Padilla, C. (2009). Mutations of the phenylalanine hydroxylase (PAH) gene in Filipino patients with phenylketonuria. *Acta Medica Philippino,* 43(2), 36–39. https://doi.org/10.47895/amp.v43i2.2515
8. Sutivijit, Y., Banpavichit, A., Wiwanitkit, V. (2011). Prevalence of neonatal hypothyroidism and phenylketonuria in Southern Thailand: A 10-year report. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism,* 15(2), 115–117. https://doi.org/10.4103/2230–8210.81941
9. Lim, J.S., Tan, E.S., John, C.M., Poh, S., Yeo, S.J., Ang, J.S.M. et al. (2014). Inborn error of metabolism (IEM) screening in Singapore by electrospray ionization-tandem mass spectrometry (ESI/MS/MS): An 8 year journey from pilot to current program. *Molecular Genetics and Metabolism,* 113(1–2), 53–61. https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2014.07.018
10. Xiang, L., Tao, J., Deng, K., Li, X., Li, Q., Yuan, X. et al. (2019). Phenylketonuria incidence in China between 2013 and 2017 based on data from the Chinese newborn screening information system: A descriptive study. *BMJ Open,* 9(8), Article e031474. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019–031474
11. Mohsen, S.M., Yaseen, A.A., Shouk, A.A., Ammar, A.M., Mohammad, A.A. (2021). Quality characteristics improvement of low phenylalanine pasta. *Egyptian Journal of Food Science,* 49(2), 287–296. https://doi.org/10.21608/ejfs.2021.76597.1105
12. van Calcar, S.C., Ney, D.M. (2012). Food products made with glycomacropeptide, a low-phenylalanine whey protein, provide a new alternative to amino acid–based medical foods for nutrition management of phenylketonuria. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics,* 112(8), 1201–1210. https://doi.org/10.1016/j.jand.2012.05.004
13. van Wegberg, A.M.G., MacDonald, A., Ahring, K., Bélanger-Quintana, A., Blau N., Bosch, A.M. et al. (2017). The complete European guidelines on phenylketonuria: diagnosis and treatment. *Orphanet Journal of Rare Diseases,* 12, Article 162. https://doi.org/10.1186/s13023–017–0685–2
14. Zaky, M.S., Effat, L.K., Hassan, S.S. (2016). Evaluation of physical growth and weight patterns of Egyptian Children with phenylketonuria under a phenylalanine-restricted diet. *Anatomy & Physiology: Current Research,* 6(1), Article 1000187. https://doi.org/10.4172/2161–0940.1000187
15. Kamel, A.S., Ahmed, E.E.G., Hassan, F.S., Masoud, M., Mohamed, W. S. (2021). Relationship between time at diagnosis and clinical manifestations of phenylketonuria in a sample of Egyptian children. *Alexandria Journal of Pediatrics,* 34(2), 76–182. https://doi.org/10.4103/ajop.ajop_20_21
16. Silva, V.D.M., de Marco, L.M., Afonso, W.O., Lopes, D.C.F., Januario, J.N., Aguiar, M.J.B. et al. (2007). Preparation of low-phenylalanine whey hydrolysates, using papain and pancreatin immobilized on activated carbon and alumina. *American Journal of Food Technology,* 2(5), 327–341. https://doi.org/10.3923/ajft.2007.327.341
17. Pencharz, B., Hsu, J. W.-C., Ball, R. O., (2007). Aromatic amino acid requirements in healthy human subjects. *The Journal of Nutrition,* 137(6 Suppl 1), S1576 — S1578. https://doi.org/10.1093/jn/137.6.1576S
18. Yaseen A. A., Shouk A. A. (2011). Low phenylalanine Egyptian shamy bread. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences,* 61(4), 257–262. https://doi.org/10.2478/v10222–011–0029–1
19. MacDonald, A., Rylance, G., Davies, P., Asplin, D., Hall, S.K., Booth, I.W. (2003). Free use of fruits and vegetables in phenylketonuria. *Journal of Inherited Metabolic Disease,* 26(4), 327–338. https://doi.org/10.1023/a:1025150901439
20. Guimarães, C.P., Lanfer-Marquez, U.M. (2005). Estimation of phenylalanine (Phe) contents in dehydrated soups: Significance of non-protein nitrogen. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences,* 41(3), 365–376. https://doi.org/10.1590/S1516–93322005000300010 (In Portuguese)
21. Ozboy, O. (2002). Development of corn starch-gum bread for phenylketonuria patients. *Food/Nahrung,* 46(2), 87–91. https://doi.org/10.1002/1521-3803(20020301)46:2%3C87::AID-FOOD87%3E3.0.CO;2-Y

22. Dalei, S.K., Adlakha, N. (2022). Food regime for phenylketonuria: Presenting complications and possible solutions. *Journal of Multidisciplinary Healthcare,* 15, 125–136. https://doi.org/10.2147/JMDH.S330845
23. Mohsen, S.M., Yaseen, A.A., Ammar, A.M., Mohammad, A.A. (2010). Quality characteristics improvement of low-phenylalanine toast bread. *International Journal of Food Science and Technology,* 45(10), 2042–2051. https://doi.org/10.1111/j.1365–2621.2010.02365.x
24. Yaseen, A.A., Shouk, A.A., El-Hamzy, E.M.A., Ashour, M.M.S. (2012). Production and evaluation of low phenylalanine pan bread. *Journal of Applied Sciences Research,* 8(12), 5799–5805.
25. Yaseen, A. A., Shouk, A. A. (2011). Low phenylalanine pasta. *International Journal of Nutrition and Metabolism,* 3(10), 128–135.
26. Silvestre, M.P.C., Vieira, C.R., Silva, M.R., Carreira, R.L., Silva, V.D.M., Morais, H.A. (2009). Protein extraction and preparation of protein hydrolysates from rice with low phenylalanine content. *Asian Journal of Scientific Research,* 2(3), 146–154. https://doi.org/10.3923/ajsr.2009.146.154
27. Hassanpour, S., Khosravi-Darani, K., Ramezan, Y., Hashempour-Baltork, F. (2023). Evaluation of producing low phenylalanine milk by formulation procedure for phenylketonuria patients. *Letters in Applied NanoBioScience,* 12(4), Article 142. https://doi.org/10.33263/LIANBS124.142
28. Bu, T., Zhou, M., Zheng, J., Yang, P., Song, H., Li, S. et al. (2020). Preparation and characterization of a low-phenylalanine whey hydrolysate using two-step enzymatic hydrolysis and macroporous resin adsorption. *LWT,* 132, Article 109753. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109753
29. Solverson, P., Murali, S.G., Brinkman, A.S., Nelson, D.W., Clayton, M.K., Yen, C.-L.E. et al. (2012). Glycomacropeptide, a low-phenylalanine protein isolated from cheese whey, supports growth and attenuates metabolic stress in the murine model of phenylketonuria. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism,* 302(7), E885–E895. https://doi.org/10.1152/ajpendo.00647.2011
30. Soares, R.D.L., Biasutti, E.A.R., Capobiango, M., Vieira, C.R., Silva, V.D.M., Morais, H.A. et al. (2006). Preparation of enzymatic skim milk hydrolysates with low phenylalanine content. *Acta Farmaceutica Bonaerense,* 25(3), 325–332.
31. Silvestre, M.P.C., Lopes, C.O., Silva, M.R., Silva, V.D.M., Aguiar, M.J.B., Amorin, L.L. (2011). Study of Brazilian beans: Protein extraction and hydrolysis followed by phenylalanine removal. *American Journal of Food Technology,* 6(10), 893–903. https://doi.org/10.3923/ajft.2011.893.903
32. van Spronsen, F.J., van Wegberg, A.M.J., Ahring, K., Bélanger-Quintana, A., Blau, N., Bosch, A.M. et al. (2017). Key European guidelines for the diagnosis and management of patients with phenylketonuria. *The Lancet Diabetes and Endocrinology,* 5(9), 743–756. http://doi.org/10.1016/S2213–8587(16)30320–5
33. FDA (2023). CFR — Code of Federal Regulations Title. Title 21—Food and Drugs, Chapter1 — Food and Drugs Administration Department of Health and Human Services, Subchapter C- Drugs general, Part 201- Labelling, Subpart A- General Labelling Provision. Retrieved from https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=201.21 Accessed April 16, 2023

AUTHOR INFORMATION	СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Affiliation	**Принадлежность к организации**
Abdalla S. M. Ammar, Professor, Food Science and Technology Department, Faculty of Agriculture, Cairo University Gamaa Street, Giza, 12613, Egypt Tel.: +2–0101–997–17–99 E-mail: abdallaammar@agr.cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000–0002–9919–8760	**Аммар Абдалла С. М.,** профессор, кафедра науки о питании и технологии, Сельскохозяйственный факультет, Каирский Университет 12613, Египет, Гиза, ул. Гамаа Тел.: +2–0101–997–17–99 E-mail: abdallaammar@agr.cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000–0002–9919–8760
Contribution	**Критерии авторства**
The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.	Автор имеет единоличное отношение к написанию рукописи и несет ответственность за плагиат
Conflict of interest	**Конфликт интересов**
The author declare no conflict of interest.	Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-283-287

Поступила 23.04.2023
Поступила после рецензирования 17.07.2023
Принята в печать 25.07.2023
© Фоменко О. Ю., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Обзорная статья
Open access

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНОМА ВИРУСА ЛЕЙКОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА: МИНИ-ОБЗОР

Фоменко О. Ю.

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
лейкоз, Bovine leukemia virus, геном, провирусная ДНК, ПЦР тест-система

АННОТАЦИЯ

Энзоотический лейкоз крупного рогатого скота — это инфекционное заболевание с хроническим течением, вызываемое РНК-содержащим вирусом из рода *Deltaretrovirus*. Несмотря на внедрение различных программ по ликвидации лейкоза, заболевание остается широко распространенным на планете и продолжает наносить значительный экономический ущерб. Большинство инфицированных вирусом BLV животных остаются бессимптомными носителями вируса, что осложняет постановку диагноза и способствует распространению заболевания в стаде. Структура генома вируса BLV в целом типична для представителей ретровирусов. В его состав входят гены, кодирующие структурные белки, вирусные ферменты и регуляторные элементы, фланкированные с обеих сторон идентичными длинными концевыми повторами. Гены, кодирующие ферменты и структурные белки (*gag*, *pro*, *pol* и *env*), играют важнейшую роль в жизненном цикле вируса, оказывая влияние на его инфекционность и производство вирионов. Регуляторные гены *tax* и *rex* обеспечивают регуляцию вирусной транскрипции, экспорт транскриптов из ядра в цитоплазму и прогрессирование заболевания. При этом увеличение числа копий провирусной ДНК происходит в основном не за счёт функционирования обратной транскриптазы вируса, а посредством клонального размножения пораженных субпопуляций В-клеток, преимущественно CD5+ IgM+. Данная особенность обеспечивает повышенную генетическую стабильность вируса BLV. Эти свойства вирусного генома позволяют разрабатывать разнообразные ПЦР-тест системы, широкое внедрение которых позволяет выявлять носителей болезни на ранних стадиях, что должно способствовать эффективной реализации национальных программ искоренения лейкоза крупного рогатого скота.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию НИР № FNSS-2022-0006 Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности.

Received 23.04.2023
Accepted in revised 17.07.2023
Accepted for publication 25.07.2023
© Fomenko, O. Yu., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Review article
Open access

STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE BOVINE LEUKEMIA VIRUS GENOME: A MINI REVIEW

Oleg Yu. Fomenko

All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia

KEY WORDS:
leukemia, bovine leukemia virus, genome, proviral DNA, PCR assay

ABSTRACT

Enzootic bovine leukemia is an infectious disease with a chronic course caused by an RNA-containing virus of the genus *Deltaretrovirus*. Despite the implementation of various programs for the elimination of leukemia, the disease is still widespread on the planet and continues to cause significant economic damage. A large proportion of BLV-infected cattle remain to be asymptomatic carriers of the virus, which complicates diagnosis and contributes to the spread of the disease in the herd. The structure of the BLV genome is generally typical of retroviruses. It consists of genes encoding structural proteins, viral enzymes and regulatory elements flanked on both sides by identical long terminal repeats. The enzyme and structural protein coding genes (*gag*, *pro*, *pol*, and *env*) play a crucial role in the life cycle of the virus, influencing its infectivity and virion production. The *tax* and *rex* regulatory genes regulate viral transcription, export of transcripts from the nucleus to the cytoplasm, and disease progression. The increase in the number of copies of proviral DNA occurs mainly not due to the functioning of the virus reverse transcriptase, but because of clonal reproduction of the affected subpopulations of B-cells, mainly CD5+ IgM+. This feature provides increased genetic stability of the BLV virus. These properties of the viral genome allow the development of a variety of PCR test systems. The widespread implementation of such systems enables the detection of carriers of the disease at early stages, which should contribute to the effective implementation of national programs to eradicate bovine leukemia.

FUNDING: The article was prepared within the framework of research on the state task of Research and Development No. FNSS-2022-0006 of the All-Russian Research Institute of Dairy Industry.

1. Введение

Вирус лейкоза крупного рогатого скота представляет собой онкогенный ретровирус из рода *Deltaretrovirus*, являющийся причиной возникновения энзоотического лейкоза КРС. Данное лимфопролиферативное заболевание характеризуется возникновением дисбаланса в динамическом равновесии между пролиферацией клеток и их гибелью, приводящего к прогрессирующему накоплению клеток, несущих интегрированный в геном провирус [1]. Впервые вирусные частицы типа С из лейкоцитов больного лимфосаркомой крупного рогатого скота были выделены Miller с соавторами [2]. В дальнейшем вирус, полученный из краткосрочных культур лимфоцитов больных коров, был охарактеризован с молекулярно-биологической точки зрения, и вирусная природа лейкоза КРС была подтверждена совокупностью эпидемиологических и биохимических данных [3]. Вирус интегрируется в геномную ДНК клеток периферической крови хозяина как провирус и, таким образом, поддерживает персистенцию вируса в организме [4]. Следует отметить, что род *Deltaretrovirus* включает в себя Т-лимфотропные вирусы человека I и II типов (HTLV–I и HTLV–II), а также Т-лимфотропный вирус обезьян [5]. Индуцированные вирусом BLV опухоли обычно берут свое начало из субпопуляции CD5+ IgM+ В-клеток [6]. При этом широкое распространение BLV-инфекции приводит к огромным экономическим потерям в животноводческой отрасли.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Фоменко, О. Ю.** (2023). Структурные характеристики генома вируса лейкоза крупного рогатого скота: мини-обзор. *Пищевые системы*, 6(3), 283-287. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-283-287

FOR CITATION: **Fomenko, O. Yu.** (2023). Structural characteristics of the bovine leukemia virus genome: A mini review. *Food Systems*, 6(3), 283-287. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-283-287

Целью данной работы являлся анализ литературы о молекулярно-генетических характеристиках генома вируса лейкоза крупного рогатого скота и их использования для создания эффективных диагностических тест-систем.

2. Материалы и методы

Объектами изучения являлись научные публикации, посвящённые различным аспектам строения и функционирования генома вируса энзоотического лейкоза крупного рогатого скота. Поиск осуществлялся в базе PubMed и открытых интернет-источниках, период поиска охватывал временной интервал с 1969 по 2023 годы. Использовались следующие ключевые слова на английском языке (как по отдельности, так и в комбинациях): leukemia, Bovine leukemia virus, genome, proviral DNA, regulation, transcription, life cycle, PCR assay. Из поисковой выдачи были исключены результаты, не содержавшие полные тексты научных трудов, а также опубликованные не на языке поисковых запросов. Кроме того, из отобранных материалов дополнительно удалены работы, не относящиеся к теме данного исследования.

3. Организация генома вируса BLV

Полная нуклеотидная последовательность РНК-генома вируса лейкоза крупного рогатого скота была получена Sagata с соавторами [7]. С использованием метода Максама-Гилберта авторам удалось прочитать последовательность вирусного генома длиной 8 714 пар оснований. Была предложена схема строения вирусного генома вида 5’ LTR-gag-pol-env-pXBL-3’ LTR, которая на сегодняшний день остается практически неизменной. Как и все ретровирусы, геном BLV кодирует структурные белки и ферменты (*gag*, *pro*, *pol* и *env*), играющие важнейшие и незаменимые роли в реализации жизненного цикла вируса, вирулентности и в производстве инфекционных вирионов [8].

Длинный 5′-концевой повтор (5′-LTR) размером 560 нуклеотидов очень консервативен: единственным существенным различием между изолятами вируса является нуклеотидная замена G→A в позиции 150 третьего энхансерного элемента TxRE данного участка генома [9]. Каждый из трех энхансерных элементов TxRE, расположенных в области U3 длинного 5’-концевого повтора, имеет длину в 21 нуклеотидный остаток и несет ко́ровую восьминуклеотидную последовательность, соответствующую консервативному элементу ответа цАМФ (CRE), с которым могут связываться такие клеточные транскрипционные факторы, как белок, связывающий элемент ответа цАМФ (CREB), факторы активации транскрипции ATF-1 и ATF-2 и некоторые другие [10]. Помимо этого, каждый из указанных выше энхансеров содержит в себе последовательность E-box, перекрывающуюся с каждым из CRE-мотивов и связывающую различные транскрипционные факторы, такие как c-Myc, Max, USF и TFE3 [11]. Данный регион также содержит глюкокортикоид-отвечающий элемент (GRE) [12] и сайт связывания PU.1/Spi-B [13].

Транскрипционный промотор вируса BLV расположен в пределах длинного 5′-концевого повтора и состоит из участков U3, R and U5. Экспрессия вирусных генов индуцируется на транскрипционном уровне при помощи трансактиватора Tax, кодируемого вирусом [14]. Белок Tax функционирует как трансактиватор транскрипции вирусных генов и модулирует экспрессию некоторых клеточных генов хозяина [15]. Таким образом, считается, что белок Tax играет критическую роль в процессе лейкемогенеза, вызываемого дельтавирусами [16]. Установлено, что продолжительность латентного периода у штаммов вируса BLV, кодирующих остаток пролина в положении 233 белка Tax (P233-Tax), приблизительно на два года длиннее, чем у вариантов вируса L233-Tax [17].

Как отмечалось выше, структурные и функциональные вирусные белки кодируются генами *gag*, *pro*, *pol* и *env*. Продукт гена *gag* представляет собой белок-предшественник, продуктами созревания которого являются матриксный (p15 — MA), капсидный (p24 — CA) и нуклеокапсидный (p12 — NC) белки. Известно, что нуклеокапсидные белки всех ретровирусов отличаются высоким содержанием осно́вных аминокислотных остатков и наличием цинк-связывающих доменов, вовлеченных в упаковку РНК и оказывающих влияние на специфичность связывания между РНК и белком [18].

Кодируемая геном *pro* протеаза вируса BLV представляет собой аспрататную протеазу, чья активность необходима для процессирования продукта трансляции *gag* и правильного созревания вирионов. При этом, по сравнению с другими гомологичными ретровирусными ферментами, данная протеаза гораздо более чувствительна к возникающим мутациям, которые оказывают существенное влияние на формирование функциональной конформации молекулы и ее каталитическую активность. В этом отношении она подобна протеазе Т-лимфотропного вируса человека I типа [19]. Вероятно, это является следствием того, что эти вирусы не используют чрезвычайно подверженную ошибкам обратную транскриптазу (вследствие отсутствия у нее экзонуклеазной активности [20]) для создания достаточного уровня генетического разнообразия, а поддерживают высокий уровень провирусной нагрузки главным образом за счет клональной экспансии инфицированных клеток. При изучении скорости возникновения мутаций и их типов, наблюдающихся в ходе одного цикла репликации, было установлено, что процесс обратной транскрипции у вируса BLV примерно в два с половиной раза более точен, чем аналогичный процесс у вируса некроза селезенки SNV (4.8×10^{-6} против 1.2×10^{-5} мутаций на основание за цикл соответственно) [21]. Подобный механизм обеспечивает удивительную генетическую стабильность вируса [22].

Обратная транскриптаза вируса BLV кодируется геном *pol*. Фермент обладает-всеми видами активностей, присущих ревертазам: РНК- и ДНК-зависимой полимеразной активностью, а также проявляет рибонуклеазную Н-активность. В отличие от большинства обратных транскриптаз, обратная транскриптаза вируса BLV ферментативно активна в виде мономера даже после связывания субстрата ДНК. Для проявления как ДНК-полимеразной, так и РН-Казной активности фермент отдает предпочтение ионам Mg^{2+} по сравнению с Mn^{2+}. При этом BLV-RT относительно устойчива к действию аналогов нуклеозидтрифосфатов, являющихся мощными ингибиторами других обратных транскриптаз, таких как ревертаза ВИЧ [23].

Белковый комплекс Env образован двумя субъединицами: поверхностной субъединицей gp51 (SU, N-концевой часть) и трансмембранной gp30 (TM, C-концевая часть). Данный комплекс существует в виде функционального тримера, в котором три поверхностные субъединицы присоединены дисульфидными мостиками к шипам на поверхности трех трансмембранных субъединиц [9]. Белок gp51 распознает клеточные рецепторы и связывается с ними, вызывая тем самым конформационные изменения, приводящие к слиянию вирусной и клеточной мембран при участии олигомеров [24]. Было установлено, что алкилирование тиольной группы в мотиве Cys-X-X-Cys (CXXC) приводит к ингибированию изомеризации, слияния вируса и процесса инфицирования из-за разрушения дисульфидной связи между субъединицами SU и TM. Дальнейшие исследования, проведенные Wallin, Ekström и Garoff, показали, что процесс слияния вируса с клеткой-хозяином специфически ингибируется высокими и усиливается низкими концентрациями ионов Ca^{2+}. Эти результаты позволили авторам предположить, что комплекс Env стабилизируется двухвалентными катионами кальция и что связывание с рецептором запускает каскад реакций, включающих в себя удаление Ca^{2+}, экспозицию тиольной группы мотива CXXC и изомеризацию дисульфидной связи между субъединицами SU и TM с последующей диссоциацией поверхностного белка gp51, что приводит к активации процесса слияния [25].

Быстрое появление нейтрализующих антител к субъединице SU указывает на то, что она является основной мишенью противовирусного иммунитета. При анализе конкурентного связывания моноклональных антител было установлено, что gp51 содержит как минимум 8 эпитопов, обозначаемых от A до H, причем три из них относятся к конформационным и нейтрализующим антигенным сайтам [26]. Моноклональные антитела против эпитопа H способны полностью блокировать слияние клеток в культуре. Антитела против эпитопов F и G менее эффективно снижают способность вируса к формированию синцития [27]. Помимо гуморального иммунитета, поверхностная субъединица также стимулирует Т-клеточный ответ, что продемонстрировано наличием хелперов CD4+ и эпитопов для цитотоксических CD8+ Т-лимфоцитов (CTL). Было показано, что из 11 эпитопов данного типа только gp51N11 был способен индуцировать CD8(+) Т-клеточно опосредованную цитотоксичность, но при этом он не пригоден в качестве мишени для вакцины из-за высокого уровня полиморфизма в соответствии со значением индекса вариабельности Ву-Кабата [28]. В противоположность SU, трансмембранная субъединица оболочки вируса BLV обладает крайне низкой иммуногенностью [29].

Роль региона pX (длиной 1800 оснований) первоначально оставалась неясной, было известно лишь то, что он содержит неидентифицированные открытые рамки считывания и соответствует участку pX вируса HTLV. Отсутствие ее гибридизации с ДНК хозяина (коровы) позволяло сделать предположение о том, что данная часть генома вируса не является недавно захваченным клеточным геном [7]. В дальнейшем было выяснено, что в состав pX-участка входит

несколько неструктурных генов (*R3*, *G4*, *tax*, *rex*, *AS* и *pre-miRs*), играющих важную роль в регуляции вирусной транскрипции, трансформации индуцированного BLV лейкемогенеза, экспорте вирусной РНК из ядра и синтезе микроРНК [30, 31].

Также, как в случае с HTLV-1, белки вируса BLV Tax и Rex, закодированные в участке генома pX, вовлечены в транскрипционную и посттранскрипционную регуляцию экспрессии вирусных генов соответственно. Методами обратной генетики было показано, что эти белки чрезвычайно важны для проявления вирусной инфекционности *in vivo* [32]. Белок Tax опосредованно связывается с CRE-элементами, находящимися в участке U3 5'-длинного концевого повтора. Tax активирует транскрипцию провируса через взаимодействие с членами семейства CREB/ATF, а также с гистонацетилтрансферазами (HATs), регулирующими транскрипцию хроматина путем целевого ацетилирования нуклеосомальных гистонов [33].

При этом в период латентной фазы вирус придерживается стратегии «молчания», которая, по-видимому, позволяет ему эффективно избегать воздействия иммунной системы хозяина. В тоже время механизм подобного «молчания» остается неизвестным. Возможно, что регуляторный белок Rex, кодируемый участком pX генома вируса BLV, способен снижать уровень экспрессии вирусных протеинов, подавляя экспрессию не только гена *rex*, но и *tax*, который также кодируется участком pX и активирует управляемую длинным концевым повтором транскрипцию [34]. Считается, однако, что Rex сам по себе недостаточен для полной репрессии вирусной экспрессии, так как в продолжающихся клеточных культурах с интегрированным полноразмерным геномом BLV наблюдается значительное количество транскриптов вируса [35].

Развитие симптомокомплекса энзоотического лейкоза крупного рогатого скота требует экспрессии *tax*, по крайней мере, на ранних стадиях инфекции. Активация вирусной экспрессии в латентно инфицированных клетках и избегание цитотоксического ответа лимфоцитов на нее являются важнейшим этапом патогенеза. В то же время до сих пор остается неясным, каким образом экспрессия вируса повторно активируется в латентно инфицированных (характеризующихся низким уровнем экспрессии) лейкоцитах *in vivo* [32]. Внутри ядра белок Rex взаимодействует с элементами ответа на Rex (RexRE), располагающимися на 3′ R-участках матричных РНК вируса, и переносит их в цитоплазму, ингибируя процессы сплайсинга и усиливая накопление в ней как сплайсированных, так и незрелых транскриптов. Это усиление в свою очередь приводит к синтезу структурных белков и к снижению уровня дважды сплайсированной *tax-rex* мРНК [36]. Однако некоторые вирусные молекулы РНК все же процессируются с образованием зрелой мРНК env, дважды сплайсированной мРНК p30 и продукта альтернативного сплайсинга матричной РНК tax/rex. При этом p30 способен взаимодействовать с Rex и ингибировать за счет этого экспорт из ядра прошедших двойной сплайсинг вирусных матричных РНК, включая и транскрипт гена *tax*, снижая уровень вирусной транскрипции из-за предотвращения синтеза белка Tax [37].

Вспомогательные белки R3 и G4 вносят вклад в поддержание высокого уровня вирусной нагрузки. Белок R3 состоит из 44 аминокислотных остатков с гидрофильной частью на N-конце и следующим за ней гидрофобным участком. Montero Machuca с соавторами [38] обнаружили 9 несинонимичных мутаций в 5 из 30 исследованных последовательностей вируса BLV генотипа 1, но не выявили их ассоциаций с какими-либо специфическими биологическими эффектами. Результаты опытов с использованием иммунофлуоресценции показали, что после трансляции накопление белка R3 наблюдается в ядре и клеточных мембранах, в то время как G4 локализуется в митохондриях и клеточном ядре. В этом отношении полипептиды R3 и G4 показывают сходство с белками Т-лимфотропного вируса человека I типа p12I и p13II соответственно, что может указывать на предположительное совпадение их функциональных свойств [39]. Было показано, что спонтанные мутации, такие, как, например, делеция размером в 12 пар нуклеотидов в гене G4 у штамма вируса BLV pvAF967, способны существенно снижать репликацию вируса и приводить к возникновению статической вирусной нагрузки [40].

При помощи технологии RNA-seq было обнаружено, что провирус BLV конститутивно экспрессирует два антисмысловых транскрипта, причем как у животных с клиническими признаками лейкоза, так и у бессимптомных носителей. Первый из транскриптов (AS1) может подвергаться альтернативному полиаденилированию с образованием транскрипта AS1-S длиной ~600 оснований и менее представленного транскрипта размером ~2200 оснований (AS1-L). Результатом альтернативного сплайсинга является появление второго транскрипта — AS2 — протяженностью около 400 нуклеотидных остатков [31]. Последовательная экспрессия этих транскриптов как в лейкемических, так и в незлокачественных клонах указывает на их существенную роль в жизненном цикле вируса и в процессе реализации его онкогенного потенциала [31].

Помимо описанных выше элементов, геном вируса BLV содержит гены вирусных микроРНК (*pre-miR-B*), расположенные между участками *env* и *pX*. С пяти различных генов *pre-miR-B* при помощи РНК-полимеразы III транскрибируется десять вирусных микроРНК (miRs-B), в больших количествах обнаруживаемых в инфицированных вирусом В-клетках как на бессимптомной, так и на лейкемической стадиях развития инфекции [41].

4. Молекулярно-генетическая диагностика вируса BLV

Вирус BLV интегрируется в клеточный геном хозяина и остается в нем даже при полном отсутствии детектируемых антител. Это делает провирусную ДНК привлекательной мишенью для диагностики заболевания. Молекулярно-генетические анализы на основе ДНК-технологий существенно ускоряют выявление вируса, что позволяет эффективно предотвращать его распространение и снижать экономические потери животноводческой отрасли.

К настоящему времени разработано значительное количество ПЦР-методов, направленных на выявление провирусной ДНК в клетках крови животных. Как видно из приведенных выше данных об особенностях организации вирусного генома, наиболее привлекательными для диагностики являются 5'-длинные концевые повторы [42,43], гены *gag* [44], *pol* [45], *env* [46] и *tax* [47,48]. Важно отметить, что количество копий провируса в общем случае остается чрезвычайно малым по сравнению геномом хозяина, из-за чего большое количество тест-систем сконструировано с использованием гнездовой ПЦР. Например, Klintevall и соавторы [49] проводили изучение кинетики инфекционного процесса и тропизма вируса, а также пригодности различных методов ранней диагностики инфекции, амплифицируя участки провирусной ДНК в образцах, выделенных из крови и различных органов искусственно заражённых животных. Используя праймеры для гнездовой ПЦР, специфически амплифицирующие участок длинного концевого повтора генома вируса, Uera с соавторами [50] выполнили первый анализ распространения вируса лейкоза КРС на территории Филиппин с использованием молекулярно-биологических подходов. Эта работа была продолжена в исследованиях Polat и соавторов [51], путём изучения 1116 образцов крови КРС показавших циркулирование вируса BLV генотипов 1 и 6 на территории страны. Система специфических праймеров позволила D'Angelino с соавторами [52] идентифицировать фрагмент гена *env*, кодирующий поверхностную субъединицу gp51, в 4,8% исследованных образцов головного мозга коров с различного рода нейрологическими синдромами. Используя ту же мишень, исследователи Villalobos-Cortés и др. [53] провели сравнение эффективности использования иммунодиффузии в геле, ИФА и ПЦР для выявления больных животных. Однако гнездовая ПЦР, несмотря на свою высочайшую чувствительность, обычно является весьма продолжительной по времени выполнения анализа и обладает высоким риском получения ложноположительных результатов из-за перекрестной ДНК-контаминации образцов. В последние годы разработано несколько методик, позволяющих работать напрямую с образцами крови без необходимости выделения и очистки ДНК, что значительно сокращает время анализа и существенно уменьшает его стоимость. Nishimori с соавторами [54], исследовав 225 клинических образцов установили, что специфичность и чувствительность использованной ими системы для прямой ПЦР составили 100% и 75,51% по сравнению с гнездовой ПЦР. При разработке метода прямой ПЦР для выявления провирусной ДНК вируса BLV, Takeshima с соавторами [55] использовали праймеры, комплиментарные длинному концевому повтору вируса. Их тест-система позволила выявлять носителей заболевания с вирусной нагрузкой выше 133 копий на 10^5 клеток крови. Используя метод прямой амплификации ДНК из высушенных на фильтровальной бумаге пятен цельной крови, исследовательской группе El Daous [56] удалось достичь чувствительности и специфичности в 90,1% и 97,5% соответственно по сравнению с ИФА-анализом. Wu с соавторами [57] разработали высокоточный метод количественного определения вирусной нагрузки с использованием цифровой капельной ПЦР и неочищенной геномной ДНК. При этом коэффициент корреляции результатов между классической и прямой ПЦР составил 0,906, что делает предложенный авторами метод очень перспективным для количественного анализа крупных массивов образцов.

5. Выводы

Таким образом, проведенный краткий обзор показал, что геном вируса BLV имеет структуру, типичную для онкогенных ретровирусов рода *Deltaretrovirus*. Схема строения вирусного генома имеет вид 5'-LTR-gag-pol-env-pXBL-3'-LTR. Помимо структурных, функциональных и регуляторных белков, в геноме вируса закодировано 5 микроРНК (*pre-miR-B*), расположенных между участками *env* и *pX* и частично перекрывающихся со стабильно экспрессирующими антисмысловыми транскриптами AS1 и AS2, предположительно играющими важную роль в реализации жизненного цикла вируса. Относительная стабильность генома вируса BLV, связанная со спецификой размножения вируса, позволяет разрабатывать ПЦР тест-системы для обнаружения провирусной ДНК на ранних стадиях развития заболевания. Дальнейшая разработка более чувствительных и менее трудозатратных методов ПЦР-анализа будет способствовать достижению целей программ по ликвидации вирусного лейкоза крупного рогатого скота, а также приведет к увеличению объема выпуска качественной и безопасной для потребителей молочной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Achachi, A., Florins, A., Gillet, N., Debacq, C., Urbain, P., Foutsop, G. M. et al. (2005). Valproate activates bovine leukemia virus gene expression, triggers apoptosis, and induces leukemia/lymphoma regression *in vivo*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(29), 10309–10314. https://doi.org/10.1073/pnas.0504248102
2. Miller, J. M., Miller, L. D., Olson, C., Gillette, K. G. (1969). Virus-like particles in phytohemagglutinin-stimulated lymphocyte cultures with reference to bovine lymphosarcoma. *Journal of the National Cancer Institute*, 43(6), 1297–1305. https://doi.org/10.1093/jnci/43.6.1297
3. Kettmann, R., Portetelle, D., Mammerickx, M., Cleuter, Y., Dekegel, D., Galoux, M. et al. (1976). Bovine leukemia virus: An exogenous RNA oncogenic virus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 73(4), 1014–1018. https://doi.org/10.1073/pnas.73.4.1014
4. Murakami, H., Yamada, T., Suzuki, M., Nakahara, Y., Suzuki, K., Sentsui, H. (2011). Bovine leukemia virus integration site selection in cattle that develop leukemia. *Virus Research*, 156(1–2), 107–112. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2011.01.004
5. Hron, T., Elleder, D., Gifford, R. J. (2019). Deltaretroviruses have circulated since at least the Paleogene and infected a broad range of mammalian species. *Retrovirology*, 16, Article 33. https://doi.org/10.1186/s12977–019–0495–9
6. Aida, Y., Okada, K., Amanuma, H. (1993). Phenotype and ontogeny of cells carrying a tumor-associated antigen that is expressed on bovine leukemia virus-induced lymphosarcoma. *Cancer Research*, 53(2), 429–437.
7. Sagata, N., Yasunaga, T., Tsuzuku-Kawamura, J., Ohishi, K., Ogawa, Y., Ikawa, Y. (1985). Complete nucleotide sequence of the genome of bovine leukemia virus: Its evolutionary relationship to other retroviruses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 82(3), 677–681. https://doi.org/10.1073/pnas.82.3.677
8. Polat, M., Takeshima, Sn., Aida, Y. (2017). Epidemiology and genetic diversity of bovine leukemia virus. *Virology Journal*, 14, Article 209. https://doi.org/10.1186/s12985–017–0876–4
9. Moratorio, G., Fischer, S., Bianchi, S., Tomé, L., Rama, G., Obal, G. et al. (2013). A detailed molecular analysis of complete Bovine Leukemia Virus genomes isolated from B-cell lymphosarcomas. *Veterinary Research*, 44, Article 19. https://doi.org/10.1186/1297–9716–44–19
10. Nguyên, T. L., de Walque, S., Veithen, E., Dekoninck, A., Martinelli, V., de Launoit, Y. et al. (2007). Transcriptional regulation of the bovine leukemia virus promoter by the cyclic AMP-response element modulator tau isoform. *Journal of Biological Chemistry*, 282(29), 20854–20867. https://doi.org/10.1074/jbc.M703060200
11. Calomme, C., Dekoninck, A., Nizet, S., Adam, E., Nguyên, T.L., Van Den Broeke, A. et al. (2004). Overlapping CRE and E box motifs in the enhancer sequences of the bovine leukemia virus 5' long terminal repeat are critical for basal and acetylation-dependent transcriptional activity of the viral promoter: Implications for viral latency. *Journal of Virology*, 78(24), 13848–13864. https://doi.org/10.1128/JVI.78.24.13848–13864.2004
12. Xiao J., Buehring G. C. (1998). *In vivo* protein binding and functional analysis of cis-acting elements in the U3 region of the bovine leukemia virus long terminal repeat. *Journal of Virology*, 72(7), 5994–6003. https://doi.org/10.1128/JVI.72.7.5994–6003.1998
13. Dekoninck, A., Calomme, C., Nizet, S., de Launoit, Y., Burny, A., Ghysdael, J. et al. (2003). Identification and characterization of a PU.1/Spi-B binding site in the bovine leukemia virus long terminal repeat. *Oncogene*, 22(19), 2882–2896. https://doi.org/doi: 10.1038/sj.onc.1206392
14. Derse, D. (1987). Bovine leukemia virus transcription is controlled by a virus-encoded trans- acting factor and by CIS-acting response elements. *Journal of Virology*, 61(8), 2462–2471. https://doi.org/10.1128/jvi.61.8.2462–2471.1987
15. Maezawa, M., Fujii, Y., Akagami, M., Kawakami, J., Inokuma, H. (2023). Phylogenetic analysis based on whole genome sequence of bovine leukemia virus in cattle under 3 years old with enzootic bovine leukosis. *PLOS ONE*, 18(1), Article e0279756. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279756
16. Szynal, M., Cleuter, Y., Beskorwayne, T., Bagnis, C., Van Lint, C., Kerkhofs, P. et al. (2003). Disruption of B-cell homeostatic control mediated by the BLV-Tax oncoprotein: Association with the upregulation of Bcl-2 and signaling through NF-κB. *Oncogene*, 22, 4531–4542. https://doi.org/10.1038/sj.onc.1206546
17. Inoue, E., Matsumura, K., Soma, N., Hirasawa, S., Wakimoto, M., Arakaki, Y. et al. (2013). L233P mutation of the Tax protein strongly correlated with leukemogenicity of bovine leukemia virus. *Veterinary Microbiology*, 167(3–4), 364–371. https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2013.09.026
18. Wang, H., Norris, K. M., Mansky, L. M. (2003). Involvement of the matrix and nucleocapsid domains of the bovine leukemia virus Gag polyprotein precursor in viral RNA packaging. *Journal of Virology*, 77(17), 9431–3438. https://doi.org/10.1128/jvi.77.17.9431–9438.2003
19. Sperka, T., Miklóssy, G., Tie, Y., Bagossi, P., Zahuczky, G., Boross, P. et al. (2007). Bovine leukemia virus protease: Comparison with human T-lymphotropic virus and human immunodeficiency virus proteases. *Journal of General Virology*, 88(7), 2052–2063. https://doi.org/10.1099/vir.0.82704–0
20. Sebastián-Martín, A., Barrioluengo, V., Menéndez-Arias, L. (2018). Transcriptional inaccuracy threshold attenuates differences in RNA-dependent DNA synthesis fidelity between retroviral reverse transcriptases. *Scientific Reports*, 8, Article 627. https://doi.org/10.1038/s41598–017–18974–8
21. Mansky, L. M., Temin, H. M. (1994). Lower mutation rate of bovine leukemia virus relative to that of spleen necrosis virus. *Journal of Virology*, 68(1), 494–499. https://doi.org/10.1128/jvi.68.1.494–499.1994
22. Wattel, E., Vartanian, J. P., Pannetier, C., Wain-Hobson, S. (1995). Clonal expansion of human T-cell leukemia virus type I-infected cells in asymptomatic and symptomatic carriers without malignancy. *Journal of Virology*, 69(5), 2863–2868. https://doi.org/10.1128/jvi.69.5.2863–2868.1995
23. Perach, M., Hizi, A. (1999). Catalytic features of the recombinant reverse transcriptase of bovine leukemia virus expressed in bacteria. *Virology*, 259(1), 176–189. https://doi.org/10.1006/viro.1999.9761
24. Lamb, D., Schüttelkopf, A. W., van Aalten, D. M., Brighty, D. W. (2011). Charge-surrounded pockets and electrostatic interactions with small ions modulate the activity of retroviral fusion proteins. *PLOS Pathogens*, 7(2), Article e1001268. https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1001268
25. Wallin, M., Ekström, M., Garoff, H. (2004). Isomerization of the intersubunit disulphide-bond in Env controls retrovirus fusion. *The EMBO Journal*, 23(1), 54–65. https://doi.org/10.1038/sj.emboj.7600012
26. Bruck, C., Mathot, S., Portetelle, D., Berte, C., Franssen, J. D., Herion, P. et al. (1982). Monoclonal antibodies define eight independent antigenic regions on the bovine leukemia virus (BLV) envelope glycoprotein gp51. *Virology*, 122(2), 342–352. https://doi.org/10.1016/0042–6822(82)90234–3
27. Zarkik, S., Defrise-Quertain, F., Portetelle, D., Burny, A., Ruysschaert. J. M. (1997). Fusion of bovine leukemia virus with target cells monitored by R18 fluorescence and PCR assays. *Journal of Virology*, 71(1), 738–740. https://doi.org/10.1128/JVI.71.1.738–740.1997
28. Bai, L., Takeshima, S. N., Isogai, E., Kohara, J., Aida, Y. (2015). Novel CD8(+) cytotoxic T cell epitopes in bovine leukemia virus with cattle. *Vaccine*, 33(51), 7194–7202. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.10.128
29. De Brogniez, A., Mast, J., Willems, L. (2016). Determinants of the Bovine Leukemia Virus Envelope Glycoproteins Involved in Infectivity, Replication and Pathogenesis. *Viruses*, 8(4), Article 88. https://doi.org/10.3390/v8040088
30. Barez, P. Y., de Brogniez, A., Carpentier, A., Gazon, H., Gillet, N., Gutiérrez, G. et al. (2015). Recent advances in BLV research. *Viruses*, 7(11), 6080–6088. https://doi.org/10.3390/v7112929
31. Durkin, K., Rosewick, N., Artesi, M., Hahaut, V., Griebel, P., Arsic, N. et al. (2016). Characterization of novel Bovine Leukemia Virus (BLV) antisense transcripts by deep sequencing reveals constitutive expression in tumors and transcriptional interaction with viral microRNAs. *Retrovirology*, 13(1), Article 33. https://doi.org/10.1186/s12977–016–0267–8
32. Pluta, A., Jaworski, J. P., Douville, R. N. (2020). Regulation of Expression and Latency in BLV and HTLV. *Viruses*, 12(10), Article 1079. https://doi.org/10.3390/v12101079
33. Arainga, M., Takeda, E., Aida, Y. (2012). Identification of bovine leukemia virus tax function associated with host cell transcription, signaling, stress response and immune response pathway by microarray-based gene expression analysis. *BMC Genomics*, 13, Article 121. https://doi.org/10.1186/1471–2164–13–121
34. Tajima, S., Aida, Y. (2005). Induction of expression of bovine leukemia virus (BLV) in blood taken from BLV-infected cows without removal of plasma. *Microbes and Infection*, 7(11–12), 1211–1216. https://doi.org/10.1016/j.micinf.2005.04.010
35. Inabe, K., Ikuta, K., Aida, Y. (1998). Transmission and propagation in cell culture of virus produced by cells transfected with an infectious molecular clone of bovine leukemia virus. *Virology*, 245(1), 53–64. https://doi.org/10.1006/viro.1998.9140
36. Derse, D. (1988). *Trans*-acting regulation of bovine leukemia virus mRNA processing. *Journal of Virology*, 62(4), 1115–1119. https://doi.org/10.1128/JVI.62.4.1115–1119.1988
37. Edwards, D., Fenizia, C., Gold, H., de Castro-Amarante, M. F., Buchmann, C., Pise-Masison, C.A. et al. (2011). Orf-I and orf-II-encoded proteins in HTLV-1 infection and persistence. *Viruses*, 3(6), 861–885. https://doi.org/10.3390/v3060861
38. Montero Machuca, N., Tórtora Pérez, J. L., González Méndez, A. S., García-Camacho, A. L., Marín Flamand, E., Ramírez Álvarez, H. (2022). Genetic analysis of the pX region of bovine leukemia virus genotype 1 in Holstein Friesian cattle with different stages of infection. *Archives of Virology*, 167, 45–56. https://doi.org/10.1007/s00705–021–05252–2
39. Lefèbvre, L., Ciminale, V., Vanderplasschen, A., D'Agostino, D., Burny, A., Willems, L. et al. (2002). Subcellular localization of the bovine leukemia virus R3 and G4 accessory proteins. *Journal of Virology*, 76(15), 7843–7854. https://doi.org/10.1128/jvi.76.15.7843–7854.2002
40. Murakami, H., Uchiyama, J., Nikaido, S., Sato, R., Sakaguchi, M., Tsukamoto, K. (2016). Inefficient viral replication of bovine leukemia virus induced by spontaneous deletion mutation in the G4 gene. *Journal of General Virology*, 97(10), 2753–2762. https://doi.org/10.1099/jgv.0.000583

41. Zyrianova, I. M., Koval'chuk, S. N. (2018). Bovine leukemia virus *pre-miRNA* genes' polymorphism. *RNA Biology*, 15(12), 1440–1447. https://doi.org/10.1080/15476286.2018.1555406
42. Jimba, M., Takeshima, Sn., Murakami, H., Kohara, J., Kobayashi, N., Matsuhashi, T. et al. (2012). BLV–CoCoMo-qPCR: a useful tool for evaluating bovine leukemia virus infection status. *BMC Veterinary Research*, 8, Article 167. https://doi.org/10.1186/1746–6148–8–167
43. Borjigin, L., Yoneyama, S., Saito, S., Polat, M., Inokuma, M., Shinozaki, Y. et al. (2021). A novel real time PCR assay for bovine leukemia virus detection using mixed probes and degenerate primers targeting novel BLV strains. *Journal of Virological Methods*, 297, Article 114264. https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2021.114264
44. Corredor-Figueroa, A. P., Salas, S., Olaya-Galán, N. N., Quintero, J. S., Fajardo, Á., Soñora, M. et al. (2020). Prevalence and molecular epidemiology of bovine leukemia virus in Colombian cattle. *Infection, Genetics and Evolution*, 80, Article 104171. https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104171
45. Dimitrov, P., Simeonov, K., Todorova, K., Ivanova, Z., Toshkova, R., Shikova, E. et al. (2012). Pathological features of experimental bovine leukaemia viral (BLV) infection in rats and rabbits. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 56, 115–120. https://doi.org/10.2478/v10213–012–0021–5
46. Fechner, H., Kurg, A., Geue, L., Blankenstein, P., Mewes, G., Ebner. D. et al. (1996). Evaluation of Polymerase Chain Reaction (PCR) application in diagnosis of Bovine Leukaemia Virus (BLV) infection in naturally infected cattle. *Zoonoses and Public Health*, 43(1–10), 621–630. https://doi.org/10.1111/j.1439–0450.1996.tb00361.x
47. Choi, K. Y., Monke, D., Stott, J. L. (2002). Absence of bovine leukosis virus in semen of seropositive bulls. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 14(5), 403–406. https://doi.org/10.1177/104063870201400507
48. Alvarez, I., Porta, N. G., Trono, K. (2019). Detection of Bovine Leukemia Virus RNA in blood samples of naturally infected dairy cattle. *Veterinary Sciences*, 6(3), Article 66. https://doi.org/10.3390/vetsci6030066
49. Klintevall, K., Ballagi-Pordány, A., Näslund, K., Belák, S. (1994). Bovine leukaemia virus: rapid detection of proviral DNA by nested PCR in blood and organs of experimentally infected calves. *Veterinary Microbiology*, 42(2–3), 191–204. https://doi.org/10.1016/0378–1135(94)90018–3
50. Uera, J. A., Lazaro, J. V., Mingala, C. (2012). Detection of Enzootic Bovine Leukosis in cattle using nested Polymerase Chain Reaction assay. *Thai Journal of Veterinary Medicine*, 42(3), 319–324. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/tjvm/article/view/10988
51. Polat, M., Ohno, A., Takeshima, Sn., Kim, J., Kikuya, M., Matsumoto, Y. et al. (2015). Detection and molecular characterization of bovine leukemia virus in Philippine cattle. *Archives of Virology*, 160, 285–296. https://doi.org/10.1007/s00705–014–2280–3
52. D'Angelino, R. H. R., Pituco, E. M., Villalobos, E. M. C., Harakava, R., Gregori, F., Del Fava, C. (2013). Detection of Bovine Leukemia Virus in brains of cattle with a neurological syndrome: Pathological and molecular studies. *Bio Med Research International*, 2013, Article 425646. https://doi.org/10.1155/2013/425646
53. Villalobos-Cortés, A., Franco, S., González, R. G., Jaen, M. W. (2017). Nested polymerase chain reaction (nPCR) based diagnosis of bovine leukemia virus in Panama. *African Journal of Biotechnology*, 16, 528–535. https://doi.org/10.5897/AJB2016.15849
54. Nishimori, A., Konnai, S., Ikebuchi, R., Okagawa, T., Nakahara, A., Murata, S. et al. (2016). Direct polymerase chain reaction from blood and tissue samples for rapid diagnosis of bovine leukemia virus infection. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 78(5), 791–796. https://doi.org/10.1292/jvms.15–0577
55. Takeshima, Sn., Watanuki, S., Ishizaki, H., Matoba, K., Aida, Y. (2016). Development of a direct blood-based PCR system to detect BLV provirus using CoCoMo primers. *Archives of Virology*, 161, 1539–1546. https://doi.org/10.1007/s00705–016–2806-y
56. El Daous, H., Mitoma, S., Elhanafy, E., Thi Nguyen, H., Thi Mai, N., Hara, A. et al. (2020). Establishment of a novel diagnostic test for Bovine Leukaemia virus infection using direct filter PCR. *Transboundary and Emerging Diseases*, 67(4), 1671–1676. https://doi.org/10.1111/tbed.13506
57. Wu, X., Notsu, K., Matsuura, Y., Mitoma, S., El Daous, H., Norimine, J. et al. (2023). Development of droplet digital PCR for quantification of bovine leukemia virus proviral load using unpurified genomic DNA. *Journal of Virological Methods*, 315, Article 114706. https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2023.114706

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Фоменко Олег Юрьевич — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Центральная лаборатория микробиологии, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности 115093, Москва, ул. Люсиновская, 35/7 Тел.: +7–904–211–01–75 E-mail: o_fomenko@vnimi.org ORCID: http://orcid.org/0000–0001–7852–3790	**Oleg Yu. Fomenko**, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Central Laboratory of Microbiology, All-Russian Dairy Research Institute 35/7, Lyusinovskaya str., 115093, Moscow, Russia Tel.: +7–904–211–01–75 E-mail: o_fomenko@vnimi.org ORCID: http://orcid.org/0000–0001–7852–3790
Критерии авторства	**Contribution**
Автор имеет единоличное отношение к написанию рукописи и несет ответственность за плагиат	The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.	The author declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-288-297

Received 13.05.2023
Accepted in revised 21.07.2023
Accepted for publication 28.07.2023
© Rahmah L. L., Ansori A. N. M., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Review article
Open access

DIVERSITY OF SAMBAL TYPES IN INDONESIA

Latifahtur L. Rahmah[1],* Arif N. M. Ansori[2,3]

[1] Akademi Kuliner dan Patiseri OTTIMMO Internasional, Surabaya, Indonesia
[2] Faculty of Science and Technology, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia
[3] Uttaranchal Institute of Pharmaceutical Sciences, Uttaranchal University, Dehradun, India

KEY WORDS:
Sambal, food diversity, Indonesia

ABSTRACT

Sambal is a processed chili paste with a spicy taste. The history of sambal begins with the arrival of chili seeds brought by the Portuguese in the 16th century, which was like a cultural renaissance of spicy foods. The methodology used for this research included analysis of food ethnographic literature, origin, function and types of sambal found in relevant articles and book chapters. The results show that the population with the highest consumption of sambal lives on the Sumatra Islands. There are two types of sambal preparation methods, namely slicing and mashing. Some chili sauces can be cooked or eaten raw. Sambal diversity is influenced by several factors, namely resources, geographical factors, history, and culture. Thus, sambal is considered to be an important contributor to food diversity in Indonesia because every local cuisine includes sambal and it is never left behind.

ACKNOWLEDGEMENTS: We thank LPPM Akademi OTTIMMO for providing support in carrying out this research and the OTTIMMO Academy Lab for providing the opportunity, permission, place and support for the implementation of this research. We also thank Jalan Tengah, Indonesia (http://jalantengah.site/) for editing the manuscript.

Поступила 13.05.2023
Поступила после рецензирования 21.07.2023
Принята в печать 28.07.2023
© Рахмах Л. Л., Анзори А. Н. М., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Обзорная статья
Open access

РАЗНООБРАЗИЕ ТИПОВ САМБАЛА В ИНДОНЕЗИИ

Рахмах Л. Л.[1],* Анзори, А. Н. М.[2,3]

[1] Международная академия кулинарии и кондитерских изделий ОТТИММО, Сурабая, Индонезия
[2] Университет Айрлангга, Сурабая, Индонезия
[3] Университет Уттаранчал, Дехрадун, Индия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
самбал, разнообразие пищевых продуктов, Индонезия

АННОТАЦИЯ

Самбал — это переработанная паста из чили с острым вкусом. История самбала начинается с появлением семян чили, ввезенных португальцами в XVI веке, что было подобно культурному ренессансу острой пищи. Использованной для данного исследования методологией был анализ этнографической литературы по пищевым продуктам, происхождения, функций и типов самбала из релевантных статей и глав книг. Результаты показали, что наиболее высокое потребление самбала было у жителей о. Суматра. Существует два типа методов приготовления самбала, а именно нарезка и растирание. Некоторые соусы чили могут быть термообработаны или потребляться сырыми. На разнообразие самбала влияют несколько факторов, а именно, ресурсы, географические факторы, история и культура. Таким образом, самбал рассматривается как важный фактор, вносящий вклад в разнообразие блюд в Индонезии, т. к. каждая кухня включает самбал и от него никогда не отказываются.

БЛАГОДАРНОСТЬ: Мы благодарим LPPM Akademi OTTIMMO за поддержку в проведении этого исследования и лабораторию OTTIMMO Academy Lab за предоставление возможности, разрешения, места и поддержки для реализации этого исследования. Мы также благодарим Jalan Tengah, Индонезия (http://jalantengah.site/) за редактирование рукописи.

1. Introduction

Sambal is a popular Indonesian dish. The main ingredient that makes it spicy is chili. Since the introduction of chili into Indonesia from the American continent by the Portuguese and the Spanish during the first colonial period, it has been widely used in Indonesian cuisine [1]. During the Dutch colonial period in Indonesia, a popular book with the title *Kokki Bitja* was first published in 1857. It was compiled by Nonna Cornelia and describes sambal, which is called sambalan in this book [2]. There are other publications about sambal, including poetry. For example, popular verses found in 1669, which are known to be from the poem by Van Overbeeke in Batavia, characterize the spicy taste of sambal [3].

Sambal became popular due to the publication of cookbooks from the 19th century to the beginning of the 20th century. The cookbook conforming to "Pancasila" was finally published in 1967 with the title "Mustika Rasa Resep Masakan Indonesia" for Indonesian sambal [4]. The preparation of *Mustika Rasa* was based on the idea that the main thing was the creation of the national Indonesian cuisine [5]. Some of the chili recipes written with Indonesian old spelling are sambal *bantji, belimbing, lado hidjau, ontjom, petjel, tempojak* and many more [6].

Chili is an important commodity in Indonesia because most households use it to complement everyday dishes. With its increased consumption, the demand for chili has become relatively high as the average Indonesian likes spicy [7,8]. The high consumption of sambal is due to tolerance of people living in hot climates to chili [9]. In every local restaurant in Indonesia, customers are offered bowls with sambal. One teaspoon of sambal is more than enough for a full plate of rice or soup [5].

As an archipelago, Indonesia has numerous races and cultures. Aside from its ancestral heritage, the country's culture is also influenced by the diversity of traditions and foods [10]. Indonesia is well known for its cultural and ethnic diversity, including diversity of food, customs, and ceremonies [11]. A great nation is expected to uphold the national identity. Indonesia is a country with remarkable works of art, culinary heritage, and traditional culture [9]. Sambal is one of the favorite spicy dishes in Indonesia with high diversity [12]. Figure 2 is a roadmap to explore sambal types in Indonesia.

Previous findings show that food differences are associated with the geography and demography of the Indonesian archipelago because food

FOR CITATION: **Rahmah, L. L., Ansori, A. N. M.,** (2023). Diversity of sambal types in Indonesia. *Food Systems*, 6(3), 288-297. https://doi.org/10.21323/2618-97712023-6-3-288-297

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Рахмах, Л. Л., Анзори, А. Н. М.,** (2023). Разнообразие типов самбала в Индонезии. *Пищевые системы*, 6(3), 288-297. https://doi.org/10.21323/2618-97712023-6-3-288-297



Figure 1. **Diversity of sambal in Indonesia**
Рисунок 1. **Разнообразие самбала в Индонезии**

diversity emerged from the traditional ways of adding spices [13,14]. The traditional raw materials have been used for generations up to date and are adapted to complement the main ingredients based on region and [15].

Food diversity is related to various types of culture as well as the ecological and human environment. It focuses on the varieties of food systems in different regions, cultures, and ecosystems. Several studies have also examined the nutritional status of humans in relation to food systems [16]. There is a close correlation between the potential benefits and "functional roles" of food and regional diversity. Nutrition science must support sustainable ecosystems, ecological resources, and a healthy environment. Nutrition and the environment are closely linked throughout the food system [17].

Food diversity represents the dietary habits of people in a country [8]. One of the culinary heritages of the average Indonesian is the consumption of spicy food, such as sambal. It is preferred by various groups and is consumed quite frequently. Sambal is pureed chili (*Capsicum sp.*) with or without additives such as salt, shallots, and garlic. The Creative Economy Agency of the Republic of Indonesia has a goal to make sambal well known globally to increase its value and bring pride to Indonesians [18]. Therefore, it can be concluded that Indonesia has diversified food culture, and various food ingredients in addition to chili and various manufacturing techniques are used to produce sambal.

2. Objects and methods

This study aims to explore the diversity of sambal in Indonesia as part of cultural identity with a long historical trail and complex interweaving aspects of environment, history, society, and culture [12]. The methodology used for this research included analysis of food ethnographic literature, origin, function and types of sambal from relevant articles and book chapters containing reviews, summaries, and authors' thoughts. Ethnographic literature represents a large repository of information on culture [19,20]. Food ethnographic literature consisted of descriptions of food provisioning, production, consumption, sharing food and beverages and the use of food and drinks in ritual and symbolism.

3. Results and discussion

According to the Indonesian National Standard (SNI), sambal is a spicy thick sauce made primarily from chilies and additional seasonings with or without complementary ingredients. The processes involved in its production include preparing raw materials, cooking, and serving [17]. Sambal is also defined as a processed chili product that resembles porridge and usually contains other ingredients such as salt, shallots, and garlic [21]. In general, there is a sequential process used to prepare this meal in Indonesia. The first step is the preparation of raw materials, which consists of washing and sauteing chilies and other ingredients. This is followed by grinding ingredients along with chilies using the Indonesian traditional tools cobek (mortar) and ulek (pestle) in separate processes. The last stage that is optional is the cooking process, which requires continuous stirring to avoid charring a product [13].

3.1. Origin of sambal in Indonesia

As a part of the human cultural identity, food has a long historical trail and complex interweaving of various aspects [22]. The history of chili sauce which we now know as sambal begins with the arrival of chili or capsicum in Indonesia. Thus, chili that is consumed by local Indonesian people is not a local plant that existed in the archipelago, but is a native American commodity introduced by the Portuguese. The entry of chili seeds brought by the Portuguese in the 16th century was like a cultural renaissance of spicy foods such as sambal [23]. Today, the import of chili sauce has colored the lives of Indonesian people and has an impact on various aspects of life, from culinary to the Indonesian economy [24].

During the Dutch colonial period in Indonesia, the book "Kokki Bitja atau Tab Masak-Masakan India" was published for the first time in 1857. It was compiled by Nonna Cornelia who was a citizen of the Netherlands. In this cookbook, she introduced various foods and ingredients that were available and could be processed in the Indies (ancient Indonesian name). The impression is that Cornelia compiled a wide collection of recipes for various kinds of food and chili sauces called sambalan that represented the tastes of various regions of the Indies and had unique and distinctive names, such as: sambal *goreng*, sambal *godog*, sambal *pete* and many others [3]. In addition, there are popular verses found in 1669, which are

known to be from the poem by Van Overbeeke in Batavia: "Soya, Gengber, Loock en Ritsjes. Maeckt de maegh wel scharp en spitsjes", which means "Soybean, ginger, garlic and chili make the stomach twist because they are spicy and stirred" [2].

Sambal became popular and was prepared widely due to the publication of cookbooks from the 19th century to the beginning of the 20th century. During this period, a regional culinary concept was developed which was referred to as the *Indische keuken* (Indian cuisine) by the gastronomists of that time. The inception of the *Indische keuken* led to the categorization of recipes based on social groups in the colony by several cookbooks. For example, the author of *Oost-Indisch Kookboek* (1870) classified recipes into "Dutch Food" (*Hollandsch eten*) and "Bumiputera Food" (*Inlandscheten*). Figures of bumiputera, such as Kartini and her sisters Kardinah and Roekmini, are suitable examples to show the influence of Indian cuisine on local culinary tastes, including sambal. In the previous years when there were the unstable political conditions in Indonesia plus the power of President Sukarno, who was on the brink, the cookbook conforming to "Pancasila" was finally published in 1967 with the title "Mustika Rasa Resep Masakan Indonesia". This book contains recipes for various types of sambal [4]. The recipes written with Indonesian old spelling are sambal *bantji, lado hidjau, ontjom, petjel, tempojak* and many more [6]. Sambal diversity is growing very widely in Indonesia because of mouth and stomach adaptations. Newcomers to Java usually try hometown dishes, but because the signature ingredients are not widely used in Java, these individuals have begun to adapt their recipes according to circumstances and functional food in the area [25]. The average chili sauce in Indonesia is categorized as halal food because the majority of Indonesians are Muslims. Food culture is closely related to religion, hence, food in Indonesia is adapted to Islam [26].

The tools used to make sambal are known as a cobek (mortar) and ulek (pestle). From the traces of history, the traditional Indonesian cobek and ulek are among the greatest kitchen tools of all time. The shape of the cobek is flatter and more open on the top (like a plate with rounded edges) than an enclosed bowl-like mortar. The ulek is also shaped differently from a pestle and has a distinctive curvature for easy handgrip, thereby allowing for Indonesia's unique technique of grinding. The cobek and ulek are made of basalt stone, and allow herbs and spices to have optimum surface contact area with them, thereby producing delicious and spicy sambals with their smooth texture [27].

3.2. Function of sambal in Indonesia

Indonesians are very familiar with several varieties of sambal because ingredients, such as chili, tomatoes and other spices, are easy to find [28]. In Indonesia, sambal is also served as one-dish food and is called *makanan sepinggan* (one-dish meal). An example of a *sepinggan* menu from Yogyakarta city in Indonesia is *gudeg*, which contains *tewel* (young jackfruit stewed with palm sugar, coriander, and coconut milk), fried chicken initially boiled in seasoned coconut milk, fermented soybean meal (*tempe*) fried with shrimps and sweetened with palm sugar, fried crispy shrimp wafers (*krupuk*), and red sambal [29].

There is unique creative tourism organized by some Balinese local tourism activists, who offer visitors cooking experience with the local community. Tourists can discover Balinese cuisine taking part in preparation of dishes, for example cooking rice, *be tutu, lawar, jukut meurap* and the side dishes sambal *bongkot*, sambal *embe* [30]. At the other end of the Indonesian spectrum is food from the West Sumatran region of Padang. This food called *Masakan Padang* consists of rice, the main side dish full of wet spices and served with the addition of green sambal and red sambal [29].

Sambal is usually consumed as a side dish along with *lalapan*, which is a typical salad of West Java, Indonesia. *Lalapan* is a side dish that consists of several raw plant parts such as fruit, flowers, seeds, roots, stems, and leaves without the addition of spices and is dipped in sambal. Fresh *lalapan* sambal is used as a flavor enhancer to rice complement [31].

Traditionally fresh sambal is prepared together with chilies and other ingredients using traditional tools usually close to serving time [32]. In the concept of a simple Indonesian food plate, apart from rice and side dishes, there is fresh sambal that provides a spicy contrast and is eaten with something that provides crispiness such as fried small anchovies (*teri goreng*), tapioca crackers (*krupuk*), fried shallots, or fried *tempe* [29]. Furthermore, sambal and sambal *goreng* are two terms that are often misinterpreted by people unfamiliar with Indonesian cuisine. Generally, it is widely known that sambal is spicy while *goreng* means "fried"; therefore, sambal *goreng* is often interpreted as fried dish. While sambal is used as a side dish, fried sambal is the main dish with additional protein such as shrimps [33]. Sambal *goreng ebi* potatoes are usually consumed with seasoned *uduk* rice [34].

3.3. Types of sambal in Indonesian

A typical Indonesian full meal is accompanied by dressings or sauce called sambal, a mixture of herbs and spice. The main spice used in making sambal is chili with varieties found throghout islands in Indonesia [14]. Several chili varieties are presented in supplementary data (Table S2).

Capsaicin in chilies has the high anti-atherosclerotic potential. Furthermore, some varieties of chili also cause inhibition of tumor cells [16]. There are 26 species of chili pepper (*cabai* in Indonesian) or *Capsicum* genus. Furthermore, locally and internationally cultivated chili consists of five species, namely 1) *Capsicum annuum*; 2) [35]. Chili is an important spice widely distributed throughout all regions in Indonesia. It is processed and also consumed fresh to increase appetite. There are various names for chili pepper in Indonesia in addition to *cabai*, for example *lombok* and *cengek* [36]. Four types of chili are used for sambal, namely red (*Capsicum annuum*), curly (*Capsicum annuum*), red bird's eye (*Capsicum frutescens*) and green bird's eye (*Capsicum frutescens*).

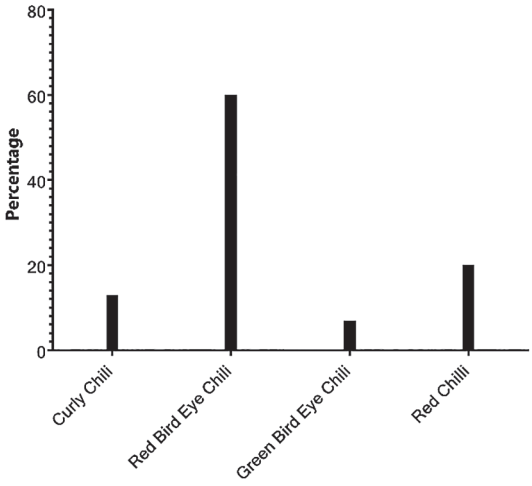


Figure 2. **Use of chili for sambal in Indonesia**
Рисунок 2. **Использование перца чили для самбала в Индонезии**

Figure 2 and supplementary data (Table S2) show that the most utilized chili for sambal is red bird's eye chili. It is predominantly used due to its spiciness [37]. Indonesians usually prefer foods with spicy taste. A little amount of red bird's eye chili makes sambal taste spicy [38]. The average Indonesian uses red chili pepper. However, there is a green sambal called *lado mudo* that comes from Padang City, Indonesia [4].

Culinary culture in Indonesia is influenced by several factors such as natural resources, history, and culture. Food is a strategic tool to boost country's tourism industry. Indonesian cuisine has a complex and wide range of tastes due to its geographic diversity and great cultural wealth. Various types of sambal are used all over the country [39]. The diversity of these sambals can be seen in Table 1.

Table 1. **Sambal types in Indonesia based on region**
Таблица 1. **Типы самбала в Индонезии по регионам**

No	Island	Province	Sambal
1	Sumatra	Nanggroe Aceh Darrussalam	*Asam Udeung*
2			*Aceh*
3			*Ganja*
4			*Korek*
5		North Sumatra	*Tukutuk*
6			*Andaliman*
7		West Sumatra	*Lado Modo*
8			*Cangkuak*
9			*Uwok*
10		South Sumatra	*Cengek*
11		Riau	*Pilado Lauwok*
12			*Cencalok*
13			*Pokasam*
14		Riau Island	*Lade Gorom*
15			*Calok Mentah*
16		Jambi	*Belacan*
17			*Terasi Macang*
18			*Ikan Bilis*

End of Table 1 / Окончание Таблицы 1

No	Island	Province	Sambal
19		Bangka Belitung Island	*Serai*
20			*Rusip*
21		Bengkulu	*Lemea*
22			*Tempoyak*
23			*Piriak*
24		Lampung	*Kweni*
25			*Seruit*
26	Jawa	DKI Jakarta	*Dengkek*
27			*Belimbing Wuluh*
28			*Jahe Betawi*
29		Banten	*Borog*
30			*Goang*
31		West Java	*Cibiuk*
32			*Dadak*
33			*Oncom*
34		Middle Java	*Brambang Asem*
35			*Banci*
36		DI Yogyakarta	*Penyetan*
37		East Java	*Petis*
38			*Tempong*
39			*Pecel*
40			*Tumpang*
41	Nusa Tenggara	Bali	*Matah*
42			*Engsaban Sambal Nyuh*
43			*Embe*
44			*Bangkot*
45			*Tuwung*
46		West Nusa Tenggara	*To'o*
47			*Doco Toma*
48			*Masin*
49			*Ayam Suwir*
50			*Jeruk Bawang*
51		East Nusa Tenggara	*Lu'at*
52			*Teri*
53			*Bawang*
54	Kalimantan	West Kalimantan	*Cincalok*
55			*Tahu Singkawang*
56		Middle Kalimantan	*Dadah Belasan*
57			*Lucung*
58			*Ramania*
59		South Kalimantan	*Jeruk Limau*
60			*Ronto*
61			*Goreng Mandai*
62			*Acan*
63		East Kalimantan	*Gami*
64			*Raja*
65		North Kalimantan	*Kandas Patin*
66			*Mangga*
67	Sulawesi	North Sulawesi	*Rica*
68			*Roa*
69		Gorontalo	*Sagela Gorontalo*
70			*Terasi Gorontalo*
71		Middle Sulawesi	*Dua Sale*
72		West Sulawesi	*Lawar Kacci*
73			*Penja Mandar*
74		South Sulawesi	*Kuning*
75			*Cobek Udang Kemangi*
76		Southeast Sulawesi	*Teri Asap*
77	Papua	Maluku	*Kenari*
78			*Colo-colo*
79		West Papua	*Dabu-dabu*
80		Papua	*Tomat Terasi*
81			*Papua*
82		North Maluku	*Bakasang*

These unique names are based on the strategies used to process chili to create various types of sambal with different spicy sensations. There are many types of sambal that reflect the harmony of chili combined with other various signature ingredients in each region, for example, *sambal lado, dabu-dabu, oncom, pecel* and *matah* from Sumatra, Papua, West Java, East Java, and Bali, respectively [1]. It can be seen from Table 1 and supplementary data (Table S2) that a type of sambal in Indonesia is specifically named in accordance with the regions and the main ingredients used.

In Indonesia, the majority of sambal types (30%) are found in Sumatra Island, while the smallest number of its types (8%) is found in Papua Island (Figure 3 and supplementary data Table S1). Most people describe Sumatran food as the spiciest. At the same time, thousands of Indonesians like spicy foods; therefore, Padang restaurants are found in most cities throughout Indonesia [29].

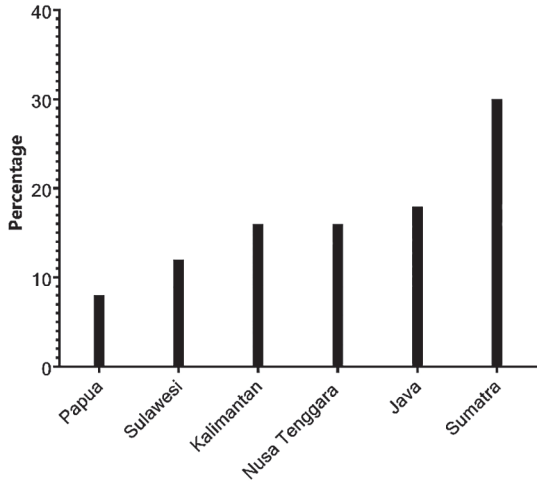


Figure 3. **Percentage of sambal types used in various islands in Indonesia**

Рисунок 3. **Процент типов самбала, используемых на различных островах в Индонезии**

Sumatra Island is famous for a wide variety of sambals, namely *tuk-tuk, tempoyak, lemea, kweni, and serit* sambal. *Tuk-tuk* sambal is a sambal served as a complement to food. This typical Batak sambal is suitable to be served with all meals. The name "*tuk-tuk*" came from the sound of traditional mashing tools. The ingredients of *tuk-tuk* sambal are shallots, chilies, candlenuts, and other additional ingredients mixed with anchovies (preferably) or dried salted fish to improve the taste of sambal. Dry fish is common food. The small dried anchovy adds crunchiness, spicy flavor and protein to sambal [29].

Some of the names of sambal were derived from the main ingredients [35]. *Andaliman* sambal is a chili sauce from North Sumatra. It is processed from chilies or tomatoes and spices such as andaliman and kecombrang (both flowers, stems, and fruits) [36]. Ingredients for *andaliman* sambal are mixed and the grinding process is carried out with an ulek (pestle) to obtain a delicious and fresh taste of sambal [40].

Tempoyak sambal is easily found on Sumatra Island. *Tempoyak* or fermented durian is used for cooking ingredients in several areas such as Lampung, Jambi, South and West Sumatra, Aceh, West Kalimantan, and Bengkulu. Furthermore, *tempoyak* is also processed into sambal in Bengkulu City. Generally, *tempoyak* sambal is made using red chili [41]. It is a popular traditional food from Jambi Province [42]. *Tempoyak* durian is made by adding 1–1.5% salt to the fruit flesh, which is then fermented for three to seven days at room temperature. It is a traditional food widely consumed in Southeast Asia, especially in Indonesia and Malaysia. A certain type of *tempoyak* sambal is produced with a mixture of chili, shrimps, anchovies, and petai or bitter beans in Pontianak, Kalimantan Island [43].

The other Sumatran chili sauces are sambal *mango kweni* and *seruit*. Mango kweni, also known as *Mangifera odorata* Griff, is a type of mango widely cultivated in Indonesia. It is broadly used in making sambal *kweni* in Sumatra Island, Lampung, and Palembang. The ingredients used in making *kweni* sambal include mango kweni, red bird's eye chilies, garlic, shallots, water, sugar, salt, and cooking oil [44]. Meanwhile, *seruit* sambal is typical of Lampung. It is made from chilies, rampai, shrimp paste, and is usually stirred with tofu, tempeh, fish, and eggplant [45].

Sambal used as a food complement is made by adding other additives such as garlic [42]. When preservatives are not added, sambal is only

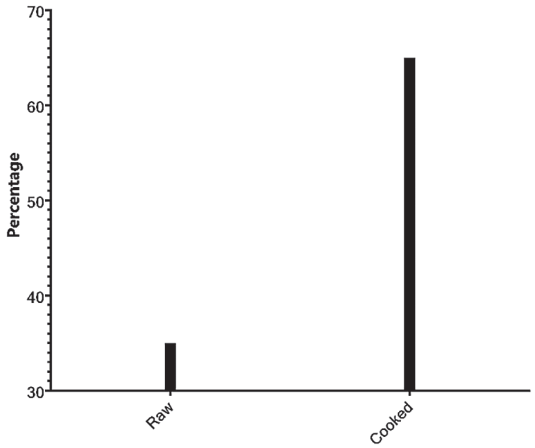


Figure 4. **Percentage of sambal types in Indonesia in terms of the processing methods**
Рисунок 4. **Процент типов самбала в Индонезии по методам обработки**

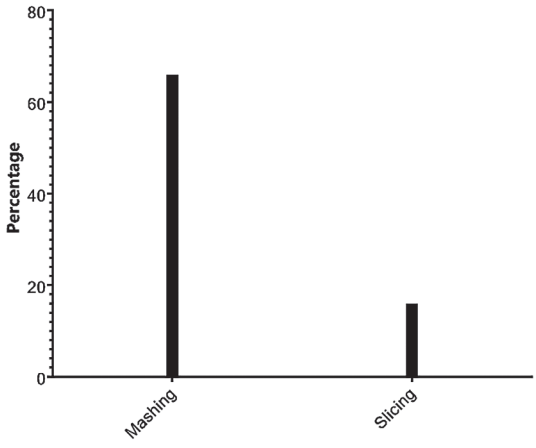


Figure 5. **Percentage of sambal types in Indonesia in terms of the preparation method**
Рисунок 5. **Процент типов самбала в Индонезии по методам подготовки**

stored for up to two months under room temperature [36]. There are two types of sambal preparation methods, namely slicing and mashing. The cooking stage can be included in or excluded from the process of sambal processing. Thus, sambal can be divided into two types in terms of the processing method: raw and cooked [6].

It can be seen from Figure 4 and Figure 5 as well as the supplementary data (Table S3) that mashing and cooking are most frequently used in the process of sambal preparation. Meanwhile, the process of making sambal sauce is quite simple. The general procedure of making tomato sambal is as follows: (1) garlic, shallots, and chili peppers are mashed using a pestle until a smooth paste forms, (2) oil is heated in a small pan over medium high heat and the paste is sautéed for about 1 minute until very fragrant and lightly charred, (3) tomatoes, salt, and sugar are added and sautéed until the tomato breaks down slightly. It is served warm [27].

Some examples of mashed sambal include *terasi, belacan*, and *pecel*. *Terasi* sambal is commonly found in Gorontalo City. The Gorontalo residents have been reported to prefer food with a spicy taste [38]. *Terasi* sambal is also called sambal *belacan*, which is a type of sambal that uses chili as the main ingredient. Moreover *terasi* (fermented shrimp or fish) is used as a delicious taste enhancer. This shrimp paste has a spicy taste due to its capsaicin content [46].

In Jambi Province, the *belacan* sambal (Figure 6) is another name for sambal paste. The main ingredients of *belacan* sambal include fresh red chili, *belacan* (shrimp paste), and salt. It is made by mixing and then pounding the ingredients in a mortar with a pestle until a smooth texture is formed. *Belacan* sambal increases appetite for food [47].

Another well-known type of sambal is *pecel*, also known as peanut sauce. It is made from peanuts together with various ingredients such as sugar, garlic, red chilies, salt, shrimp paste, lime leaves, kencur, and tamarind water. These ingredients are fried together at 120 °C until fragrant, then the grinding process is carried out using a grinding machine. After that, the *pecel* spice dough is formed [48].

Sambal *matah* (Figure 7) is a special chili sauce from Bali Island prepared without mashing ingredients. It is made using the following procedure: (1) lime leaves, red bird's eye chilies, shallots, and lemongrass stalks are thinly sliced; (2) sliced shallots are placed in a bowl and some salt is added; then, shallots are stirred and squeezed; (3) sliced lime leaves, red bird's eye chilies, lemongrass stalks and grilled shrimp paste are put into a bowl; (4) coconut oil is heated and poured into a bowl and mixed thoroughly [49]. Sambal *matah* is an alternative complementary food in Kerta Village, Bali, Indonesia and is consumed with rice, *sate lilit*, *babi guling*, *lawar paku*, and *lawar embung* [50]. Furthermore, it is used as the main dish at lunch or dinner. For example, the main dish consists of chicken *betutu* with *matah* sambal, *urap*, *moran* corn, and *tum* rice [51]. Another typical Indonesian chili sauce similar to sambal *matah* is sambal *colo-colo*, which comes from Maluku. Its basic ingredients are chopped tomatoes, red chillies, shallots, basil, lemon juice and light soy sauce [52].

Indonesia is surrounded by many waters, so it is not surprising that the country's most popular side dishes are fish and shrimps [21]. Examples of sambal with distinctive sea taste also include roa, lemea, masin, and ronto. Sambal roa is one of the most widely-known sambals. Roa fish (Hemirhampus sp.) is one of the typical small fish in North Sulawesi with a distinctive taste [48]. It is usually processed to achieve its savory and distinctive taste. In addition, the volume of roa fish production in North Sulawesi is very large, hence, the addition of roa for making sambal is a way to optimize the province's main products [42]. Another fish sambal is Lemea produced by fermentation of semi-finished food made from diced bamboo shoots and mixed with fish. The fermentation is usually carried out for 3, 5, and 7 days. The resulting product, lemea sambal, is a traditional food typical of Bengkulu Province [53]. Shrimp is another seafood utilized for making sambal. The specific type often used is rebon shrimp. One of the processed products from rebon shrimp is salted. Meanwhile, masin is a type of sambal made from fermented rebon shrimps with the addition of salt and tamarind. It is a typical product mostly produced by the people of Sumbawa, West Nusa Tenggara, especially in the Empang and Pelampang Districts [54]. Another processed sambal from rebon seafood is ronto, which is typical of the coastal community, especially South Kalimantan. It is made from ronto mixed with spices and sautéed with



Figure 6. ***Belacan* sambal**
Рисунок 6. **Самбал *белакан***



Figure 7. ***Sambal* Matah**
Рисунок 7. ***Самбал* матах**

cooking oil. The spices used include chilies, shallots, garlic, lemongrass, laos, bay leaves, and palm sugar. Ronto is a fermented rebon product in the form of a pink to brownish red paste that has a distinctive aroma of fermented shrimps with a sour to pungent aroma, and a mixture of salty and sour tastes [55].

4. Conclusion

Indonesian food diversity is influenced by several factors, namely resources, history, and culture. Furthermore, due to the enormous geographical resources, history, and cultural diversity throughout the archipelago, there is variety in shapes, textures, and tastes with the adaptation of mouth and stomach as well as adjustments of ingredients according to the natural resources. Sambal is used as a side dish that is always on the table along with staple foods. It is processed by mashing and slicing, and has a spicy taste. The addition of sambal with the spicy taste is intended to provide a prominent contrast to staple food, and has been applied since time immemorial. There are various kinds of ingredients and methods for making sambal resulting in various names and tastes. The variety of chili as well as the diversified culture and geographical factors led to the inception of many types of sambal.

Supplementary Data

Table S1. **Percentage of sambal types used in various islands in Indonesia**

Таблица **S1. Процент типов самбала, используемых на различных островах в Индонезии**

No	Island	Province	Sambal	Total	Percentage
1	Sumatra	Nanggroe Aceh Darrussalam	Asam Udeung	25	30%
2			Aceh		
3			Ganja		
4			Korek		
5		North Sumatra	Tukutuk		
6			Andaliman		
7		West Sumatra	Lado Modo		
8			Cangkuak		
9			Uwok		
10		South Sumatra	Cengek		
11		Riau	Pilado Lauwok		
12			Cencalok		
13			Pokasam		
14		Riau Island	Lade Gorom		
15			Calok Mentah		
16		Jambi	Belacan		
17			Terasi Macang		
18			Ikan Bilis		
19		Bangka Belitung Island	Serai		
20			Rusip		
21		Bengkulu	Lemea		
22			Tempoyak		
23			Piriak		
24		Lampung	Kweni		
25			Seruit		
26	Java	DKI Jakarta	Dengkek	15	18%
27			Belimbing Wuluh		
28			Jahe Betawi		
29		Banten	Borog		
30			Goang		
31		West Java	Cibiuk		
32			Sambal Dadak		
33			Oncom		
34		Middle Java	Brambang Asem		
35			Banci		
36		DI Yogyakarta	Penyetan		
37		East Java	Petis		
38			Tempong		
39			Pecel		
40			Tumpang		
41	Nusa Tenggara	Bali	Matah	13	16%
42			Engsaban Sambal Nyuh		
43			Embe		
44			Bangkot		
45			Tuwung		
46		West Nusa Tenggara	To'o		
47			Doco Toma		
48			Masin		
49			Ayam Suwir		
50			Jeruk Bawang		
51		East Nusa Tenggara	Lu'at		
52			Teri		
53			Bawang		
54	Kalimantan	West Kalimantan	Cincalok	13	16%
55			Tahu Singkawang		
56		Middle Kalimantan	Dadah Belasan		
57			Lucung		
58			Ramania		
59		South Kalimantan	Jeruk Limau		
60			Ronto		
61			Goreng Mandai		
62			Acan		
63		East Kalimantan	Gami		
64			Raja		
65		North Kalimantan	Kandas patin		
66			Mangga		
67	Sulawesi	North Sulawesi	Rica	10	12%
68			Roa		
69		Gorontalo	Sagela Gorontalo		
70			Terasi Gorontalo		
71		Middle Sulawesi	Dua Sale		
72		West Sulawesi	Lawar Kacci		
73			Penja Mandar		
74		South Sulawesi	Kuning		
75			Cobek Udang Kemangi		
76		Southeast Sulawesi	Teri Asap		
77	Papua	Maluku	Kenari	7	8%
78			Colo-Colo		
79		West Papua	Dabu-Dabu		
80		Papua	Tomat Terasi		
81			Papua		
82		North Maluku	Bakasang		
				83	100%

End of Table S1 / Окончание Таблицы S1

Table S2. **Use of chili for sambal in Indonesia**
Таблица **S2. Использование перца чили для самбала в Индонезии**

No	Island	Province	Sambal	Red chilli	Green Bird Eye Chili	Red Bird Eye Chili	Curly Chili
1	Sumatra	Nanggroe Aceh Darrussalam	Asam Udeung		1		
2			Aceh			1	
3			Ganja			1	
4			Korek			1	
5		North Sumatra	Tukutuk			1	1
6			Andaliman		1		
7		West Sumatra	Lado Modo		1		
8			Cangkuak	1			
9			Uwok	1		1	
10		South Sumatra	Cengek			1	1
11		Riau	Pilado Lauwok				1
12			Cencalok	1		1	
13			Pokasam			1	1
14		Riau Island	Lade Gorom				1
15			Calok Mentah	1		1	
16		Jambi	Belacan	1		1	
17			Terasi Macang	1		1	
18			Ikan Bilis			1	1
19		Bangka Belitung Island	Serai			1	
20			Rusip				
21		Bengkulu	Lemea			1	
22			Tempoyak				1
23			Piriak			1	
24		Lampung	Kweni	1		1	
25			Seruit			1	
26	Java	DKI Jakarta	Dengkek		1	1	
27			Belimbing Wuluh				1
28			Jahe Betawi			1	
29		Banten	Borog	1	1		
30			Goang			1	
31		West Java	Cibiuk		1	1	
32			Sambal Dadak	1		1	
33			Oncom	1		1	
34		Middle Java	Brambang Asem			1	
35			Banci				
36		DI Yogyakarta	Penyetan			1	1
37		East Java	petis			1	
38			Tempong			1	
39			Pecel				1
40			Tumpang	1		1	
41	Nusa Tenggara	Bali	Matah		1	1	
42			Engsaban Sambal Nyuh	1		1	
43			Embe			1	

End of Table S2 / Окончание Таблицы S2

No	Island	Province	Sambal	Red chilli	Green Bird Eye Chili	Red Bird Eye Chili	Curly Chili
44			Bangkot			1	
45			Tuwung			1	
46		West Nusa Tenggara	To'o			1	
47			Doco Toma			1	
48			Masin			1	
49			Ayam Suwir	1		1	
50			Jeruk Bawang			1	
51		East Nusa Tenggara	Lu'at			1	
52			Teri			1	
53			Bawang			1	
54	Kalimantan	West Kalimantan	Cincalok (Tomat Hijau)			1	
55			Tahu Singkawang			1	1
56		Middle Kalimantan	Dadah Belasan			1	1
57			Lucung			1	
58			Ramania			1	
59		South Kalimantan	Jeruk Limau	1		1	
60			Ronto			1	
61			Goreng Mandai			1	1
62			Acan	1		1	
63		East Kalimantan	Gami			1	
64			Raja	1		1	
65		North Kalimantan	Kandas Patin			1	
66			Mangga			1	
67	Sulawesi	North Sulawesi	Rica	1		1	
68			Roa			1	
69		Gorontalo	Sagela Gorontalo			1	1
70			Terasi Gorontalo			1	
71		Middle Sulawesi	Dua Sale			1	
72		West Sulawesi	Lawar Kacci	1		1	
73			Penja Mandar			1	
74		South Sulawesi	Kuning			1	
75			Cobek Udang Kemangi	1	1	1	
76		Southeast Sulawesi	Teri Asap	1		1	1
77	Papua	Maluku	Kenari	1			
78			Colo-Colo			1	
79		West Papua	Dabu-Dabu			1	
80		Papua	Tomat Terasi			1	
81			Papua			1	
82		North Maluku	Bakasang	1			
		Total		22	8	68	15
		Percentage	113	19.47%	7.08%	60.18%	13.27%

Table S3. **Percentage of sambal types in Indonesia in terms of the preparation method**

Таблица S3. **Процент типов самбала в Индонезии по методам подготовки**

No	Island	Province	Sambal	Mashing	Slicing
1	Sumatra	Nanggroe Aceh Darrussalam	Asam Udeung	1	
2			Aceh	1	
3			Ganja	1	
4			Korek	1	
5		North Sumatra	Tukutuk	1	
6			Andaliman	1	
7		West Sumatra	Lado Modo	1	
8			Cangkuak	1	
9			Uwok	1	
10		South Sumatra	Cengek	1	
11		Riau	Pilado Lauwok		1
12			Cencalok	1	
13			Pokasam	1	
14		Riau Island	Lade Gorom	1	
15			Calok Mentah		1
16		Jambi	Belacan	1	
17			Terasi Macang	1	
18			Ikan Bilis	1	
19		Bangka Belitung Island	Serai	1	
20			Rusip	1	
21		Bengkulu	Lemea	1	
22			Tempoyak	1	
23			Piriak	1	
24		Lampung	Kweni	1	
25			Seruit	1	
26	Java	DKI Jakarta	Dengkek	1	
27			Belimbing Wuluh	1	
28			Jahe Betawi	1	
29		Banten	Borog	1	
30			Goang	1	
31		West Java	Cibiuk	1	
32			Sambal Dadak	1	
33			Oncom	1	
34		Middle Java	Brambang Asem	1	
35			Banci	1	
36		DI Yogyakarta	Penyetan	1	
37		East Java	Petis	1	
38			Tempong	1	
39			Pecel	1	
40			Tumpang	1	
41	Nusa Tenggara	Bali	Matah		1
42			Engsaban Sambal Nyuh	1	
43			Embe		1
44			Bangkot		1
45			Tuwung		1
46		West Nusa Tenggara	To'o		1
47			Doco Toma		1
48			Masin	1	
49			Ayam Suwir	1	
50			Jeruk Bawang	1	
51		East Nusa Tenggara	Lu'at	1	
52			Teri		1
53			Bawang	1	
54	Kalimantan	West Kalimantan	Cincalok		1
55			Tahu Singkawang	1	
56		Middle Kalimantan	Dadah Belasan	1	
57			Lucung	1	
58			Ramania	1	
59		South Kalimantan	Jeruk Limau	1	
60			Ronto	1	
61			Goreng Mandai	1	
62			Acan	1	
63		East Kalimantan	Gami	1	
64			Raja		1
65		North Kalimantan	Kandas Patin	1	
66			Mangga	1	
67	Sulawesi	North Sulawesi	Rica		1
68			Roa	1	
69		Gorontalo	Sagela Gorontalo	1	
70			Terasi Gorontalo	1	
71		Middle Sulawesi	Dua Sale	1	
72		West Sulawesi	Lawar Kacci	1	
73			Penja Mandar		1
74		South Sulawesi	Kuning	1	
75			Cobek Udang Kemangi	1	
76		Southeast Sulawesi	Teri Asap		1
77	Papua	Maluku	Kenari	1	
78			Colo-Colo		1
79		West Papua	Dabu-Dabu		1
80		Papua	Tomat Terasi	1	
81			Papua	1	
82		North Maluku	Bakasang	1	
		Total		66	16
		Percentage	82	80%	20%

Table S4. **Percentage of sambal types in Indonesia in terms of the processing method**

Таблица S4. **Процент типов самбала в Индонезии по методам обработки**

No	Island	Province	Sambal	Raw	Cooked
1	Sumatra	Nanggroe Aceh Darrussalam	Asam Udeung	1	
2			Aceh		1
3			Ganja	1	
4			Korek	1	
5		North Sumatra	Tukutuk		1
6			Andaliman		1
7		West Sumatra	Lado Modo		1
8			Cangkuak		1
9			Uwok		1
10		South Sumatra	Cengek		1
11		Riau	Pilado Lauwok	1	
12			Cencalok	1	

Continuation of Table S4 / Окончание Таблицы S4

No	Island	Province	Sambal	Raw	Cooked
13			Pokasam		1
14		Riau Island	Lade Gorom		1
15			Calok Mentah	1	
16		Jambi	Belacan	1	
17			Terasi Macang		1
18			Ikan Bilis		1
19		Bangka Belitung Island	Serai		1
20			Rusip		1
21		Bengkulu	Lemea		1
22			Tempoyak		1
23			Piriak		1
24		Lampung	Kweni		1
25			Seruit	1	
26	Java	DKI Jakarta	Dengkek		1
27			Belimbing Wuluh		1
28			Jahe Betawi		1
29		Banten	Borog		1
30			Goang		1
31		West Java	Cibiuk	1	
32			Sambal Dadak	1	
33			Oncom		1
34		Middle Java	Brambang Asem	1	
35			Banci	1	
36		DI Yogyakarta	Penyetan		1
37		East Java	petis	1	
38			Tempong	1	
39			Pecel		1
40			Tumpang		1
41	Nusa Tenggara	Bali	Matah	1	
42			Engsaban Sambal Nyuh	1	
43			Embe		1
44			Bangkot		1
45			Tuwung	1	
46		West Nusa Tenggara	To'o	1	
47			Doco Toma	1	
48			Masin		1

End of Table S4 / Окончание Таблицы S4

No	Island	Province	Sambal	Raw	Cooked
49			Ayam Suwir		1
50			Jeruk Bawang	1	
51		East Nusa Tenggara	Lu'at		1
52			Teri	1	
53			Bawang	1	
54	Kalimantan	West Kalimantan	Cincalok		1
55			Tahu Singkawang		1
56		Middle Kalimantan	Dadah Belasan		1
57			Lucung		1
58			Ramania	1	
59		South Kalimantan	Jeruk Limau		1
60			Ronto		1
61			Goreng Mandai		1
62			Acan		1
63		East Kalimantan	Gami		1
64			Raja		1
65		North Kalimantan	Kandas Patin		1
66			Mangga		1
67	Sulawesi	North Sulawesi	Rica		1
68			Roa		1
69		Gorontalo	Sagela Gorontalo		1
70			Terasi Gorontalo		1
71		Middle Sulawesi	Dua Sale		1
72		West Sulawesi	Lawar Kacci		1
73			Penja Mandar		1
74		South Sulawesi	Kuning		1
75			Cobek Udang Kemangi		1
76		Southeast Sulawesi	Teri Asap		1
77	Papua	Maluku	Kenari	1	
78			Colo-Colo	1	
79		West Papua	Dabu-Dabu	1	
80		Papua	Tomat Terasi	1	
81			Papua	1	
82		North Maluku	Bakasang	1	
		Total		29	53
		Percentage	82	35%	65%

REFERENCES

1. Rahman, F. (2016). Jejak Rasa Nusantara: Sejarah Masakan Indonesia. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2016. (In Indonesian)
2. Cornelia. (1864). Kokki Bitja Atau Tab Masak-Masakan India. Batavia: Lange and Co., 1864. (In Indonesian)
3. Sulistijowati, S R., Manteu, S H., T. M. (2020). Kuliner Sambal Ikan. Yogyakarta: Deepublish, 2020. (In Indonesian)
4. Rahman, F. (2018). Kuliner sebagai identitas keindonesiaan. *Jurnal Sejarah*, 2(1), 43–63. http://doi.org/10.26639/js.v2i1.118 (In Indonesian)
5. Priyono, U. (2017).Kuliner (di) Indonesia. Yogyakarta: Mata Jendela, 2017.
6. Harsono, Hardjohutomo. (1967). Buku Masakan Indonesia Mustika Rasa: Resep2 Masakan Indonesia dari Sabang sampai Merauke. Departemen pertanian R.I., 1967. (In Indonesian)
7. Mansyur, M H., Hajriani, S. (2019). Physicochemical analysis of sambal ikan (stelephorus sp). *Gorontalo Agriculture Technology Journal*, 3, 23–30. (In Indonesian)
8. Ernawati, H., Suwandojo, D.P.E.H. (2020). Consumer preferences for indonesian culinary. *Journal of Indonesian Economy and Business*, 34(3), 280–293. http://doi.org/10.22146/jieb.52637
9. Romanovsky, A. A. (2015). Protecting western red cedar from deer browsing — with a passing reference to TRP channels. *Temperature,* 2(2), 142–149. http://doi.org/10.1080/23328940.2015.1047078
10. Yudhistira, B., Fatmawati, A. (2020). Diversity of Indonesian soto. *Journal of Ethnic Foods,* 7(1), Article 27. http://doi.org/10.1186/s42779–020–00067-z
11. Handoyo, C. C., Clarissa, Claudia, G., Milka, Firdayanti, S. A. (2018). Klapperta-art: an Indonesian–Dutch influenced traditional food. *Journal of Ethnic Foods,* 5(2), 147–152. http://doi.org/10.1016/j.jef.2017.12.002
12. Santyaningtyas, A. C., Noor, M. Z. M. (2016). Preserving of traditional culture expression in Indonesia. *Asian Social Science*, 12(7), 59–65. http://doi.org/10.5539/ass.v12n7p59
13. Wardhani, D. H., Aryanti, N., Buchori, L., Cahyono, H. (September 19–20, 2019). Application of an integrated cooking pan in sambal production. *Journal of Physics: Conference Series,* 1295, Article 012075. http://doi.org/10.1088/1742–6596/1295/1/012075
14. Situngkir, H. Maulana, F., Dahlan, R.V. (2015). Portrait of diversity in Indonesian traditional cuisine. Munich Personal RePEc Archive. Retrieved from https://mpra.ub.uni-muenchen.de/68385/1/MPRA_paper_68385.pdf Accessed March 20, 2023
15. Trichopoulou, A., Vasilopoulou, E., Georga, K., Soukara, S., Dilis, V. (2006). Traditional foods: Why and how to sustain them. *Trends in Food Science & Technology*, 17(9), 498–504. http://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.03.005
16. Niehof, A. (2010). Food, diversity, vulnerability and social change: Research Findings from Insular Southeast Asia. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2010. https://doi.org/10.3920/978–90–8686–671–7
17. Durazzo, A. (2019). The close linkage between nutrition and environment through biodiversity and sustainability: Local foods, traditional recipes, and

sustainable diets. *Sustainability,* 11(10), Article 2876. http://doi.org/10.3390/su11102876
18. Hutami, R. (2015). Sambal, Indigenous food from Indonesia: Potentially prevent atherosclerosis and cancer, and study of its halal critical points. *Jurnal Agroindustri Halal*, 1, 001–012. http://doi.org/10.30997/jah.v1i1.358
19. Klein, J.A., Watson, J.L. (2016). The Handbook of Food and Anthropology. New York: Blomsbury, 2016.
20. Emmez, B. C. (2020). Plants and foods as identity markers: An ethnographic analysis on the case of the (Y) Ezidis from Batman (Turkey). *Journal of Ethnic Foods*, 7, Article 5. https://doi.org/10.1186/s42779–019–0038-y
21. Alpindo, A. (2018). Improving quality of fermentation "Sambal" through adding salt and stabilizer. *AGRITEPA: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pertanian*, 3(2), 1–10. https://doi.org/10.37676/agritepa.v3i2.529 (In Indonesian)
22. Rahman, F. (2019). Exploring the study of food as a cross-disciplinary discourse. *Metahumaniora*, 9(1), 41–53. http://doi.org/10.24198/mh.v9i1.22870 (In Indonesian)
23. Rahman, F. (2016). Rijsttafel (Budaya Kuliner di Indonesia Masa Kolonial 1870–1942). Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2016. (In Indonesian)
24. Salsabila, G. (1970). Cabai: Pengaruh Portugis yang Dicintai Hingga Kini. Ilmu Sejarah, Universitas Airlangga, 121811433039 / Sejarah Indonesia Abad XVII–XVIII A Retrieved from file:///C:/Users/User/Downloads/Cabai_Pengaruh_Portugis_yang_Dicintai_Hi%20(1).pdf Accessed March 15, 2023 (In Indonesian)
25. Shi, X. (2013). *Transformation of Indonesian Chinese identity and evolution of Chinese newspaper in the 20th century.* Proceedings of International Conference on Chinese — Indonesians. Semarang: Institute for Research and Community Service Petra Christian University, 2013.
26. Rianti, A., Novenia, A. E., Christopher, A., Lestari, D., Parassih, E.K. (2018). Ketupat as traditional food of Indonesian culture. *Journal of Ethnic Foods*, 5(1), 4–9. http://doi.org/10.1016/j.jef.2018.01.001
27. Yuen, D. (2013).). Indonesian cooking satays, sambals and more: 81 homestyle recipes with the treue taste of Indonesia. Jakarta: Tuttle Publishing, 2013.
28. Febriyanti, R., Qomariyah, O. N. (2020). Diversifikasi produk olahan berbahan Sambal Desa Kedungrawan Kecamatan Krembung Kabupaten Sidoarjo. *SELAPARANG*, 4(1), 451–454. http://doi.org/10.31764/jpmb.v4i1.2858 (In Indonesian)
29. von Holzon, H., Arsana, L. (2007). The Food of Indonesian. Tuttle Publishing, 2007.
30. Mahagangga, I. G. O., Suryawan, I. B., Koesbardiati, T., Anom, I. P. T. (2020). Case study of balinese tourism: Myth as cultural capital. *Utopía y Praxis Latinoamericana,* 25(6), 122–133. https://doi.org/10.5281/zenodo.3987586
31. Cahyanto, T., Supriyatna, A., Sholikha, M., Saepuloh, A., Rahmawati, D. (2019). Inventory of plants used as lalapan in Subang, West Java. *AIP Conference Proceedings,* 2019(1), Article 020007, http://doi.org/10.1063/1.5061843
32. Fibri, D. L. N., Frøst, M. B. (2019). Consumer perception of original and modernised traditional foods of Indonesia. *Appetite*, 133, 61–69. https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.10.026
33. Owen, S. (2014). Indonesian Food. London: Pavilion Publishing, 2914.
34. Bahar, A., Suwardiah, D.K. (Oktober 18–21, 2018). *Effect of shelf life on the quality of fried sambal (condiments of instant uduk rice).* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 347(1), Article 012020. Manila, The Philippines, 2018. http://doi.org/10.1088/1755–1315/347/1/012020
35. De, A. K. (2003). Capsicum: The Genus Capsicum Medicinal and Aromatic Plants — Industrial Profiles. London: Taylor & Francis, 2003.
36. Arumingtyas, E. L., Kusnadi, J., Sari, D. R. T., Ratih, N. (July 19–20, 2017). *Genetic variability of Indonesian local chili pepper: The facts.* AIP Conference Proceedings 1908(1), Article 050002. Malang, Indonesia. http://doi.org/10.1063/1.5012726
37. Santhosha, H. M. (2020). Genetic diversity in bird eye chilli (Capsicum frutescens L.) germplasm. *Journal of Krishi Vigyan*, 9(1), 156–159. http://doi.org/10.5958/2349–4433.2020.00153.1
38. Pepiana, A., Kadir, L., Yusuf. A. (2021). Bacteria identification in traditional sauce (sambal) at the restaurants nearby the traditional markei of Gorontalo City. *Journal of Health, Technology and Science*, 2(2), 11–18. http://doi.org/10.47918/jhts.v2i1.98
39. Wijaya, S. (2019). Indonesian food culture mapping: A starter contribution to promote Indonesian culinary tourism. *Journal of Ethnic Foods*, 6(1), Article 9. http://doi.org/10.1186/s42779–019–0009–3
40. Naibaho, N. M., Damanik, N. S., Syauqi, A. (2020). Profil organoleptik sambal segar andaliman (Zanthoxylum acanthopodium DC) dan batang kecombrang (Etlingera elatior) muda. *Journal Tropical AgriFood*, 2(1), 1–7. http://doi.org/10.35941/jtaf.2.1.2020.3842.1–7 (In Indonesian)
41. Widawati, L., Efrianti. S. (2015). Preferensi panelis dan efektifitas penggunaan bahan penstabil terhadap mutu sambal hijau tempoyak. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 4(1), 42–47. http://doi.org/10.17728/JATP.2015.07 (In Indonesian)
42. Junita, D., Novitasari, M. (2019). Analisis masa simpan produk sambal Tempoyak berpotensi sebagai produk Oleh-Oleh baru. *Jurnal Akademika Baiturrahim*, 8(1), 50–57. http://doi.org/10.36565/jab.v8i1.102 (In Indonesian)
43. Rajagukguk, Y. V., Arnold, M. (2021). Tempoyak: Fermented durian paste of Malay ethnic and its functional properties. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 23(10), Article 100297. http://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100297
44. Fitriani, V., Ayuningtyas, H., Tio, D., Permana, L., Wahyuningtyas, A. (2021). Karakterisasi fisik, kimia, dan sensoris saus sambal mangga kweni (Mangifera odorata Griff) dengan variasi konsentrasi asam sitrat dan durasi sterilisasi. *Journal of Science and Applicative Technology*, 5(1), 158–162. http://doi.org/10.35472/jsat.v5i1.404 (In Indonesian)
45. Restiana, F. (2019). Lezatnya Sambal Seruit. Jakarta: Badan Pengembangan Bahasa dan Perbukuan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Jalan, 2019. (In Indonesian)
46. Ahmad, A., Kastaman, R., Mardawati, E. (2020). *Standard level determination of pungency in sambal terasi (case of study: Warung makan Betawi micro small medium enterprises).* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 443(1), Article 012040. http://doi.org/10.1088/1755–1315/443/1/012040
47. Muhammad Shahrim, A. K., Siti, S.A.R., Noranizan, M.A., Angelo, A.C. (2011). Consumers' Perspective towards malaysian traditional food: Sambal belacan (chilli shrimp paste), a preliminary investigation. *Journal of Agribusiness Marketing*, 4, 68–92.
48. Wibowo, N., Setiani, B.E., Hintono, A. (2018). Karakteristik hedonik sambal pecel hasil substitusi kacang tanah (Arachis hypogaea) dengan kacang hijau (Vigna radiata L.). *Jurnal Teknologi Pangan,* 1(1), 191–197. (In Indonesian)
49. Yuliantoro, N., Yap, C., Gunawan, C. A. (2022). Pelatihan pembuatan Seitan Masak Woku dan Sambal Matah Secara online pada Binaan SML UMKM Centre Rumah Pintar Serpong. *Jurnal Abdimas BSI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2), 304–314. https://doi.org/10.31294/jabdimas.v5i2.12846 (In Indonesian)
50. Susetia Mahdi, I., Satriawan, I., Wrasiati, L. (2017). Pemilihan jenis kuliner tradisional sebagai pendukung pengembangan agrowisata di Desa Kerta, Kecamatan Payangan. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri,* 5(1), 93–104. (In Indonesian)
51. Suriani, N. M., Ariani, R. P. (2020). *Balinese fusion food as local culinary tourism products.* Proceedings of the 2nd International Conference on Social, Applied Science, and Technology in Home Economics (ICONHOMECS2019), 406(2), 228–233. http://doi.org/10.2991/assehr.k.200218.036
52. Jero, W. (2018). Indonesia Culinary Treasures. Minister of Culture and Turism of The Republic of Indonesia, 2018.
53. Oktarianto, A., Widawati, L. (2017). Quality characteristics of "sambal lemea" with fermentation time and type of fish. *AGRITEPA: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pertanian*, 4(2), 133–145. https://doi.org/10.37676/agritepa.v4i1.593 (In Indonesian)
54. Asmawati, A., Jumisayati, J., Saputrayadi, A. (2020). The quality analysis of sambal masin (Sumbawa Specialties) with variation concentrations of salt and tamarind. *Agrikan Jurnal Agribisnis Perikanan,* 13(2), 402–411. http://doi.org/10.29239/j.agrikan.13.2.403–411
55. Khairina, R., Khotimah, I.K., Yazid, M., Fadliani, R. (2021). Chemical and organoleptic characteristics of sambal ronto. *International Journal of Advance Tropical Food*, 2(2), 43–50. http://doi.org/10.26877/ijatf.v2i2.7262

AUTHOR INFORMATION	СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Affiliation	**Принадлежность к организации**
Latifahtur Rahmah, Master Degree, Lecturer, Culinary Art, Akademi Kuliner dan Patiseri OTTIMMO Internasional Jalan Bukit Telaga Golf TC-4/2–3 Citraland, Surabaya, East Java, 60115, Indonesia Tel.: +628–969–967–17–46 E-mail: latifahturrahmah@ottimmo.ac.id ORCID: https://orcid.org/0000–0003–1687–264X * corresponding author	**Рахмах Латифахтор** — магистр, преподаватель, Международная академия кулинарии и кондитерских изделий ОТТИММО 60115, Индонезия, Восточная Ява, Сурабая, ул. Гольф-Клуб Букит Телага ТС-4/2–3 Тел.: +628–969–967–17–46 E-mail: latifahturrahmah@ottimmo.ac.id ORCID: https://orcid.org/0000–0003–1687–264X * автор для контактов
Arif N. M. Ansori, Doctor in Veterinary Science, Assistant Lecturer, Faculty of Science and Technology, Universitas Airlangga Jl. Mulyorejo, Kec. Mulyorejo, Surabaya, East Java, 60115, Indonesia Tel.: +628–214–464–78–32 E-mail: ansori.anm@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1279–3904	**Анзори Ариф Нур Мухаммад** — PhD, Доктор ветеринарных наук, научный сотрудник, Университет Айрланга, Сурабая, Индонезия 60115, Индонезия, Восточная Ява, Сурабая, округ Мулиорехо, ул. Мулерехо Тел.: +628–214–464–78–32 E-mail: ansori.anm@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1279–3904
Contribution	**Критерии авторства**
Authors are equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.	Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат
Conflict of interest	**Конфликт интересов**
The authors declare no conflict of interest.	Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-298-307

Поступила 13.05.2023
Поступила после рецензирования 02.08.2023
Принята в печать 08.08.2023
© Егорова М. И., Пузанова Л. Н., Михалева И. С., Власенко А. С., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АДЕКВАТНОСТЬ ПРОДУКЦИИ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Егорова М. И.*, Пузанова Л. Н., Михалева И. С., Власенко А. С.

Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
свеклосахарное производство, белый сахар, меласса, технологическая адекватность, индикаторный показатель, потребитель, пищевой продукт

АННОТАЦИЯ

Свеклосахарное производство России ежегодно вырабатывает около 6 млн т белого сахара и 1,5 млн т свекловичной мелассы, которые при потреблении в качестве сырья должны обладать технологической адекватностью. Цель работы — обоснование понятия технологической адекватности продукции свеклосахарного производства, ее индикаторных показателей и их пороговых значений, оценка фактической технологической адекватности белого сахара и мелассы; проверка гипотезы о взаимосвязи отдельных показателей белого сахара и эмпирических знаний о повышении содержания микронутриентов при понижении категории. Объектами исследования являлась терминология, относящаяся к характеристикам пищевых продуктов и сырья с точки зрения ожидания потребителей и показатели их оценки. Технологическую адекватность оценивали для 230 образцов белого сахара и 134 образцов свекловичной мелассы, индикаторные показатели определяли по стандартизованным и известным методикам. Технологическая адекватность белого сахара и свекловичной мелассы — соответствие определенных их функциональных свойств требованиям производства конкретного пищевого продукта, в котором они являются сырьевым ингредиентом. Мерой соответствия служат индикаторные показатели в виде физико-химических параметров состава. Обоснованы индикаторные показатели белого сахара для 3 технологий пищевых продуктов; свекловичной мелассы — для 2 технологий и хранения; выполнена оценка их технологической адекватности. Подтверждены эмпирические знания о повышении содержания микронутриентов при понижении категории, а также гипотеза о взаимосвязи отдельных показателей белого сахара. Показано, что весь белый сахар категорий экстра и ТС1 обладает технологической адекватностью для использования в производстве пищевой продукции, в то время как только 62% сахара категории ТС2 и некоторые партии свекловичной мелассы обладают необходимой технологической пригодностью. Полученные результаты будут являться инструментом регулирования выпуска конкурентоспособной продукции и развития схемы контроля технологического потока производства сахара.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № 075–01186–23–00 Курского федерального аграрного научного центра.

Received 13.05.2023
Accepted in revised 02.08.2023
Accepted for publication 08.08.2023
© Egorova M. I., Puzanova L. N, Mikhaleva I. S., Vlasenko A. S., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

TECHNOLOGICAL ADEQUACY OF SUGAR BEET PRODUCTS USED IN THE FOOD INDUSTRY

Marina I. Egorova*, Lyubov N. Puzanova., Irina S. Mikhaleva, Anna S. Vlasenko

Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russia

KEY WORDS:
beet sugar production, white sugar, molasses, technological adequacy, indicator marker, consumer, food product

ABSTRACT

Beet sugar production in Russia annually gives about 6 million tons of white sugar and 1.5 million tons of beet molasses, which must have technological adequacy, when used as raw materials. The purpose of the work was to substantiate the concept of technological adequacy of beet sugar production, its indicator markers and their threshold values, to assess the actual technological adequacy of white sugar and molasses, to verify the hypothesis about the relationship between individual indicators of white sugar and empirical knowledge about an increase in the content of micronutrients with a decrease in the category. The objects of the study were terminology related to the characteristics of food products and raw materials in terms of consumer expectations and indicators of their assessment. Technological adequacy was evaluated for 230 samples of white sugar and 134 samples of beet molasses. Indicator markers were determined according to standardized and known methods. Technological adequacy of white sugar and beet molasses is the compliance of their specific functional properties with the requirements of the production of a particular food product, in which they are raw ingredients. A measure of compliance is indicator markers in the form of physicochemical parameters of the composition. Indicators of white sugar for three food technologies and indicators of beet molasses for two technologies and storage were substantiated; their technological adequacy was assessed. Empirical knowledge about an increase in the content of micronutrients with a decrease in the category and the hypothesis about the relationship between individual indicators of white sugar were confirmed. It is shown that all white sugar of extra and TC1 categories has technological adequacy for the use in food production, while only 62% of TC2 sugar and some batches of beet molasses have the necessary technological suitability. The results obtained will be a tool for regulating the production of competitive products and developing a control scheme for the technological flow of sugar production.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. 075–01186–23–00 of the state assignment of the Federal Agricultural Kursk Research Center.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Егорова, М. И., Пузанова, Л. Н., Михалева, И. С., Власенко, А. С.** (2023). Технологическая адекватность продукции свеклосахарного производства, используемой в пищевой промышленности. *Пищевые системы*, 6(3), 298-307. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-298-307

FOR CITATION: **Egorova, M. I., Puzanova, L. N, Mikhaleva, I. S., Vlasenko, A.S.** (2023). Technological adequacy of sugar beet products used in the food industry. *Food Systems*, 6(3), 298-307. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-298-307

1. Введение

Свеклосахарное производство России является составной частью агропромышленного комплекса, обеспечивая продовольственную независимость страны по сахару, которая в 2021 г. достигла 100%, превысив пороговое значение Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации (не менее 90%). Этому способствует динамичное развитие свекловодства, позволяющее на основе достижений селекции и современных агротехнологий в 25 регионах собирать ежегодно до 50 млн т сахарной свеклы с высокими качественными показателями. Переработка сырья на 65 свеклосахарных заводах, расположенных в 20 регионах, с применением энергосберегающих технологий и оборудования нового поколения, максимальной автоматизации процессов с элементами искусственного интеллекта обеспечивает ежегодно выработку около 6 млн т сахара и 1,5 млн т побочного продукта — свекловичной мелассы. Основной продукт свеклосахарного производства — белый сахар четырех категорий по ГОСТ 33222–2015[1]. Категорирование осуществляется по физико-химическим показателям массовой доли сахарозы, редуцирующих веществ, золы и цветности раствора. Почти 85% вырабатываемого свеклосахарными заводами белого сахара составляет кристаллический сахар категории ТС2. Этот продукт массово присутствует в торговых сетях, используется в общественном питании, применяется при изготовлении большинства пищевых продуктов в промышленных масштабах. От 9 до 11% производимого белого сахара составляет белый кристаллический сахар категорий экстра и ТС1, в основном направляется промышленным потребителям и в торговые сети; до 3% (без учета производимого внешними покупателями из кристаллического сахара) — кусковой сахар различных категорий, поступающий в торговлю и на предприятия общественного питания.

Побочный продукт — свекловичная меласса — образуется как раствор, в котором содержатся все растворимые несахара клеточного сока сахарной свеклы и образовавшиеся в технологическом потоке, удерживающие часть сахарозы от кристаллизации. Химический состав свекловичной мелассы не постоянен в течение производственного сезона и зависит от состава сахарной свеклы, от применяемых локальных технологий очистки сахаросодержащих растворов, от используемых технологических вспомогательных средств, а также от периода выработки мелассы. В ней содержится: сахароза (40–60%), редуцирующие вещества (0,5–2,5%), раффиноза (0,5–2,0%), бетаин (4–7%), молочная кислота (4–6%), азотистые вещества (5–20%), минеральные вещества (12–14%) и др. [1]. Свекловичная меласса вырабатывается по ГОСТ 30561–2017[2], используется различными промышленными потребителями в т. ч. для извлечения сахара и бетаина; в незначительных количествах присутствует в мелкой розничной торговле на маркетплейсах.

Потребление белого сахара в стране составляет 5,8–6,0 млн т в год. Этот продукт приобретается населением (до 55% общего потребления), сектором общественного питания в различных форматах (до 5,2% общего потребления), а также промышленными предприятиями пищевой индустрии и других отраслей экономики. Население приобретает белый сахар в качестве основного углеводного подсластителя [2] — наиболее распространенного продукта питания, входящего в продуктовую корзину; промышленные предприятия — в качестве сырья, причем в производстве большинства продуктов питания он несет функционально-технологическое значение [3]. В различных подотраслях пищевой промышленности потребление белого сахара распределяется следующим образом: в кондитерской промышленности — 21,3%, в производстве молочных продуктов — 4,0%, в производстве плодоовощных консервов — 3,1%, в хлебопекарной отрасли — 2,3%, в винодельческой промышленности — 1,8%, в производстве безалкогольных напитков — 1,5%, в ликероводочной отрасли — 0,8% [4].

Потребление свекловичной мелассы на внутреннем рынке страны колеблется от 600 до 900 тыс. т ежегодно в зависимости от объемов производства и экспорта. Направлениями внутреннего использования мелассы являются: производство спирта, комбикормов и хлебопекарных дрожжей, получение сахара и бетаина. В последнем направлении ежегодно используется до 300 тыс. т мелассы, что сопоставимо по доле с традиционными направлениями производства дрожжей и спирта.

Рыночное движение товаров в свеклосахарной промышленности встроено в сложную многоуровневую структуру рынка сахара, включающую также сектор производства сахарной свеклы. Более того, аграрно-пищевую технологию сахара из сахарной свеклы в контексте движения продукта от поля до потребителя следует рассматривать как системный комплекс, в котором осуществляется адресная сборка продукции как в аграрной составляющей, так и в перерабатывающей [5]. В таких системах качество сырья, его технологичность определяют качество выработанного из него пищевого продукта [6]. Поэтому аграрная составляющая должна быть нацелена на производство технологически адекватной сахарной свеклы, т. е. на выращивание имеющих заданные свойства корнеплодов и на возможность коррекции их отклонений от воздействия внешних факторов [7], что позволяет осуществлять ее переработку с максимальной результативностью. Аналогично и перерабатывающая часть системного комплекса должна производить технологически адекватные белый сахар и мелассу для использования в производстве разнообразной пищевой и непищевой продукции. Однако понятие технологической адекватности продукции свеклосахарного производства отсутствует, также как систематизированные данные о требованиях к ней со стороны потребителей. Информация о фактическом составе белого сахара и свекловичной мелассы для потребителей ограничена [8,9,10,11]; для продуктов, произведенных в России, эти данные отсутствуют.

Вопросы формирования технологической адекватности сахарной свеклы в аграрной составляющей свеклосахарного комплекса активно изучаются в последнее десятилетие, что позволяет дать определение термину и предложить алгоритм оценки [7]. Накопленные знания могут стать базисом для формулирования термина применительно к белому сахару и мелассе, однако следует учитывать различия данных объектов. Сахарная свекла является сырьем растительного происхождения для технологии первичной переработки. Она поступает в технологические потоки свеклосахарных заводов, отличающихся пространственной локализацией оборудования, технологических трубопроводов, производительностью и размерными характеристиками технологического оборудования, а также режимами его работы. Однако различные предприятия используют единую технологию, поэтому требования к технологической пригодности сахарной свеклы будут одинаковыми для всех заводов.

Белый сахар и меласса являются продуктами первичной переработки растительного сырья и сырьем для вторичной переработки. Они поступают в технологические потоки производства разнообразных продуктов, отличающихся составом и структурой пищевых масс, их реологическими и другими характеристиками. Такие технологические потоки различаются как заложенной в их основе технологией, оборудованием, так и востребованностью определенных функциональных свойств белого сахара и мелассы.

Белый сахар при производстве пищевых продуктов выполняет разные функциональные задачи, проявляя различные функциональные свойства, которые вытекают из его сенсорных и физических свойств, а также способности взаимодействовать с другими присутствующими в пищевой системе ингредиентами. Для производства большинства пищевых продуктов важна сладость белого сахара [12] и уникальная способность формировать вкусовой и ароматический профиль продукта [13,14]. Разнообразный ассортимент кондитерских, хлебобулочных, молочных изделий, мороженого, концентратов, жевательных таблеток и пр. базируется на свойстве сахара образовывать и удерживать структуру теста, твердых конфет, мороженого и замороженных десертов [15,16], усиливать пенообразование зефирных масс [17], стабилизировать белковые пены [18,19]. Сахар определенным образом взаимодействует с другими рецептурными компонентами изделия, замедляя процесс эмульгирования [20], снижая степень набухания белков [21], повышая температуру клейстеризации крахмала [3], определяя реологические свойства глазури [22,23], липкость карамели [24], а также предотвращая ферментативное потемнение и изменение цвета замороженных фруктов. Данный продукт является осмотически деятельным агентом, проявляет консервирующий эффект [25]. Эти свойства сахара не присущи различным его заменителям и часто их ввод в рецептуру не оправдывает ожиданий из-за ухудшения характеристик полученного изделия, и возникновения сложностей в технологии [3], что поднимает научные проблемы снижения количества сахара в пищевых продуктах [26].

Использование сахара в промышленности наиболее широко распространено в отрасли кондитерских изделий, направленной на выпуск новых сложных продуктов с уникальными потребительскими свойствами и на расширение экспорта. Ежегодно в отрасли находит применение около 1,3 млн т белого сахара, используемого в производстве разнообразных кондитерских изделий, где востребована широкая линейка его функциональных свойств. Поэтому ввиду разнообразия ассортимента и структур пищевых масс в кондитерских

[1] ГОСТ 33222–2015 «Сахар белый. Технические условия». — Москва: Стандартинформ, 2019. — 22 с.

[2] ГОСТ 30561–2017 «Меласса свекловичная. Технические условия». — Москва: Стандартинформ, 2017. — 25 с.

изделиях проблема снижения в них количества сахара представляет собой определенный технологический вызов [16]. Схожие проблемы возникают при производстве хлебобулочных изделий [27], молочных продуктов [28,29], различных желейных продуктов [30] и фруктовых начинок, а также при изготовлении изделий с аморфной сахарозой в составе [31]. В работах зарубежных ученых отмечается, что эти вызовы приводят к разработке новых специальных композиций, взаимодействующих с сахаром [32], которые уже используются при производстве функциональных продуктов питания.

Побочный продукт свеклосахарного производства используется для кормления сельскохозяйственных животных и в производстве кормов [33]; меласса является основным сырьем в производстве хлебопекарных дрожжей, спирта, объединяемых под общим наименованием бродильных производств (БП); в качестве источника углеводов применяется для продуцентов лимонной кислоты — культуры *Aspergillus niger* — при ее производстве (ЛК) и считается лучшим сырьем, обеспечивающим высокий выход; формирует питательную среду при производстве различных соединений и биологически активных веществ [10,34]; при этом до непосредственного использования меласса проходит стадию хранения на свеклосахарном заводе или предприятии-потребителе.

Долговременное хранение мелассы имеет важное значение для ее последующего применения, так как она производится в сезон переработки сахарной свеклы. С учетом разных климатических зон свеклосеяния в России период переработки сахарной свеклы может длиться с июля по февраль. В холодное время года транспортировка мелассы осложняется ввиду ее загустевания при низкотемпературном хранении, что требует нагревания при отгрузке. При этом существует риск резкого повышения температуры, развития реакций меланоидинообразования.

Для любого товара, в т. ч. для продуктов питания, рыночной характеристикой служат потребительские свойства, которые представляют собой совокупность свойств товара, обеспечивающих покупателю наибольшее удовлетворение его потребностей. В последнее время получает распространение понятие потребительской ценности пищевого продукта [35]. В контексте потребителя (физического лица) ценность товара определяется как мера соответствия свойств пищевого продукта ожиданиям потребителя от его приобретения и использования [36]. Изменение приоритетов потребительской ценности пищевого продукта связано с различиями возрастных и социальных статусов потребителей, с индивидуальными особенностями, а также может быть ситуативным, обусловленным психоэмоциональным состоянием человека, вызванным его реакцией на конкретную ситуацию, приоритетами здорового образа жизни [37]. В контексте потребителя (промышленного предприятия) потребительская ценность пищевого продукта, используемого в качестве сырья (сырьевая ценность), будет определяться соответствием его свойств требованиям процессов производства нового продукта, отсутствием негативного влияния на потребительские свойства нового продукта как после изготовления, так и в течение срока годности [38,39].

Формирование потребительской ценности пищевого продукта происходит за счет используемых ингредиентов [40], а при выработке многокомпонентных полидисперсных пищевых продуктов их качество обеспечивается взаимодействием ингредиентов в пищевых системах [41]. Предприятия отраслей пищевой промышленности стремятся удовлетворить меняющиеся предпочтения потребителей и сформировать новую культуру потребления пищевых продуктов. В этой связи они расширяют ассортимент за счет функциональных продуктов [42], продуктов здорового питания [43], обновляют традиционную рецептуру, создают неожиданные сочетания структуры и вкуса пищевых масс [44,45], внедряют новые технологические приемы производства и контроля [46,47], используют специальную упаковку для увеличения срока годности продуктов [2].

Соответственно, при формировании потребительской ценности многокомпонентного пищевого продукта каждый используемый ингредиент должен обладать технологической адекватностью [48], которая оценивается каким-либо параметром, индикатором, важным для потребителя [49,50]. При этом в научной литературе имеет место мнение о том, что ограниченный перечень требований к сырью не позволяет в достаточной степени оценить его пригодность для изготовления пищевых продуктов. Указанное в полной мере относится, например, к виноматериалам [51], молоку-сырью [52], масличным семенам [39], пшеничной муке [38]. В научных работах обосновывается необходимость введения дополнительных показателей для оценки и идентификации сырья [53], а также пределов их варьирования для получения высококачественных пищевых продуктов. Перечень таких дополнительных показателей, иногда называемых маркерами, формируется исходя из знаний о влиянии на технологический процесс получения продукции. В основном он включает физико-химические показатели качественного состава, реакции среды, специфические характеристики пищевых систем в соответствии с их предназначением.

Целью работы являлось обоснование понятия технологической адекватности продукции свеклосахарного производства, ее индикаторных показателей и их пороговых значений для отдельных потребителей в отраслях пищевой промышленности; оценка фактической технологической адекватности белого сахара и мелассы; проверка гипотезы о взаимосвязи отдельных показателей белого сахара и эмпирических знаний о повышении содержания микронутриентов при понижении категории.

2. Объекты и методы

Объектом исследования являлась используемая в опубликованных научных статьях терминология в области характеристик пищевых продуктов и сырья с позиций ожидания потребителей, а также показатели их оценки, информация о роли сахара в производстве пищевых продуктов, данные о потенциальных показателях оценки его функциональных характеристик. Научные статьи отбирали из баз данных eLibrary.ru, Scopus и Web of Science с глубиной 10 лет.

Фактическую технологическую адекватность продукции свеклосахарного производства изучали на примере белого сахара и свекловичной мелассы. Для белого сахара потенциальными потребителями рассматривались производители кондитерских изделий, напитков с длительным сроком хранения и алкогольных напитков; для мелассы — производители лимонной кислоты и продуктов брожения.

Информацию о качестве белого сахара получали по данным мониторинга вырабатываемого свеклосахарными заводами России белого сахара. Выборка представляла собой 230 образцов белого сахара, выработанных в период 2016–2022 гг. 58 свеклосахарными заводами (что составляет 90% действующих заводов) из 18 регионов страны (из 20 регионов расположения свеклосахарных заводов). Распределение образцов белого сахара по дате производства и категории представлено в Таблице 1.

Таблица 1. **Распределение образцов белого сахара по году выработки и категории**

Table 1. **Distribution of white sugar samples by year of production and category**

Год выработки	Количество образцов по категориям				Общее количество образцов
	Экстра	ТС1	ТС2	ТС3	
2016 г.	3	2	10	3	18
2017 г.	3	3	18	5	29
2018 г.	4	3	18	5	30
2019 г.	10	3	39	5	57
2020 г.	2	–	15	5	22
2021 г.	6	–	36	5	47
2022 г.	6	–	19	2	27
Итого:	34	11	155	30	230

Параметры испытания образцов белого сахара включали показатели по ГОСТ 33222–2015: органолептические показатели — цвет, внешний вид, запах и вкус, чистота раствора по ГОСТ 12576–2014[3]; физико-химические показатели — массовая доля влаги по ГОСТ Р 54642–2011[4], массовая доля сахарозы по прямой поляризации по ГОСТ 12571–2013[5], массовая доля редуцирующих веществ методом Мюллера по ГОСТ 12575–2001[6], массовая доля золы кондуктометрической по ГОСТ 12574–2016[7], цветность в растворе по ГОСТ12572–2015[8]. Влагу определяли высушиванием при температуре

[3] ГОСТ 12576–2014 «Сахар. Методы органолептического анализа». — Москва: Стандартинформ, 2019. — 12 с.

[4] ГОСТ Р 54642–2011 «Сахар. Методы определения влаги и сухих веществ». — Москва: Стандартинформ, 2013. — 9 с.

[5] ГОСТ 12571–2013 «Сахар. Метод определения сахарозы». — Москва: Стандартинформ, 2019. — 19 с.

[6] ГОСТ 12575–2001 «Сахар. Методы определения редуцирующих веществ». — Москва: Стандартинформ, 2012. — 14 с.

[7] ГОСТ 12574–2016 «Сахар. Методы определения золы». — Москва: Стандартинформ, 2019. — 12 с.

[8] ГОСТ 12572–2015 «Сахар. Метод определения цветности». — Москва: Стандартинформ, 2019. — 10 с.

105 °С в сушильном шкафу ШС-40–02, производитель ОАО «Смоленское СКТБ СПУ» (Россия); сахарозу по прямой поляризации — на поляриметре автоматическом Saccharomat NIR W2, с пределом допускаемой абсолютной погрешности ± 0,02 °Z, производитель Schmidt + Haensch (Германия); золу кондуктометрическую — на кондуктометре портативном КП-150.1МИ с датчиком ДЭ-01, с пределом допускаемых значений абсолютной погрешности ± (0,003 + 0,015χ) мкСм/см, производитель ООО «Измерительная техника» (Россия); цветность сахара в растворе — на фотометре однолучевом Coloromat 100, с пределом абсолютной погрешности измерений коэффициента светопропускания ± 0,5% T, производитель Schmidt + Haensch (Германия). Дополнительные физико-химические показатели, характеризующие технологическую адекватность, включали мутность, массовую долю кальция и флокулообразующую способность раствора. Мутность растворов белого сахара определяли по методике ICUMSA GS2/3–18[9] как разность установленных фотоэлектроколориметрическим методом при длине волны 420 нм величин цветности раствора белого сахара, полученных без фильтрования раствора и с фильтрованием через мембранный фильтр; массовую долю кальция рассчитывали по результатам комплексонометрического титрования по разработанной методике[10]. Флокулообразующую способность растворов оценивали по разработанной методике [54]: в прозрачную стеклянную емкость вместимостью 1000 см^3 помещали 600 г исследуемого сахара и добавляли 500 см^3 дистиллированной воды, перемешивали до растворения сахара, смесь подкисляли до 1,5 ед. pH путем добавления ортофосфорной кислоты. Емкость оставляли в покое на 10 дней, затем помещали ее перед сильным лучом света и рассматривали с передней стороны, визуально оценивая любые образовавшиеся хлопья. Уровни флокулообразующей способности растворов белого сахара устанавливали следующим образом: О — отсутствует (раствор прозрачный с отсутствием видимых частиц; раствор непрозрачный, с отсутствием видимых частиц); Н — низкая (в растворе присутствуют очень маленькие отдельные частицы, видимые в луче света); С — средняя (в растворе присутствуют ворсистые частицы размером около 0,8 мм); В — высокая (в растворе наблюдаются крупные пушистые частицы или агломераты до 3 мм, видимые без луча света).

Информацию о качестве свекловичной мелассы получали по данным мониторинга вырабатываемой свеклосахарными заводами России мелассы. Выборка представляла собой 134 образца свекловичной мелассы, выработанных в период 2018–2022 гг. 30 свеклосахарными заводами из 9 регионов страны (Курская, Воронежская, Белгородская, Орловская, Липецкая, Тамбовская, Пензенская области, Краснодарский край, Республика Татарстан).

Параметры испытания образцов включали показатели по ГОСТ 30561–2017: органолептические показатели — внешний вид, цвет, запах и растворимость в воде; физико-химические показатели — массовая доля сухих веществ, сахарозы по прямой поляризации, редуцирующих веществ, водородный показатель pH. Все перечисленные характеристики определяли по методикам, изложенным в ГОСТ 30561: сухие вещества — автоматическим рефрактометром DUR-SW в разбавленном в соотношении 1:1 растворе мелассы, с пределом допускаемой абсолютной погрешности показателя преломления n_D ± 0,00010, производитель Schmidt + Haensch (Германия); сахарозу по прямой поляризации — на поляриметре автоматическом Saccharomat NIR W2, с пределом допускаемой абсолютной погрешности ±0,02 °Z, производитель Schmidt + Haensch (Германия); редуцирующие вещества определяли йодометрическим методом с применением реактива Мюллера; водородный показатель pH — на анализаторе жидкости лабораторном АНИОН 4100, с пределом допускаемой абсолютной погрешности измерения pH ± 0,02, производитель ООО НПП «Инфраспак-Аналит» (Россия).

Дополнительные физико-химические показатели, характеризующие технологическую адекватность, включали массовую долю кальция, α-аминного азота, диоксида серы, сумму сбраживаемых сахаров. Массовую долю кальция определяли комплексонометрически; содержание α-аминного азота устанавливали методом формольного титрования. Данный способ предполагает связывание при 7,0 ед. pH свободных аминогрупп аминокислот формальдегидом и последующее титрование свободных карбоксильных групп раствором гидроксида натрия с фиксацией точки эквивалентности при 9,1 ед. pH[10]. Содержание диоксида серы определяли методом йодометрии [55] после пробоподготовки мелассы путем осветления реактивом Герлеса; сумму сбраживаемых сахаров рассчитывали по результатам прямой и инверсионной поляриметрии после пробоподготовки мелассы путем осветления реактивом Герлеса[11].

Для подготовки проб к анализу использовали весы неавтоматического действия HT224RCE (класс точности I, предел взвешивания 220 г, поверочный интервал 0,001 г), производитель Shinko Denshi ViBRA (Япония); весы лабораторные электронные CE623-C (класс точности II, предел взвешивания 620 г, поверочный интервал 0,01 г), производитель ООО «Сартогосм» (Россия); прибор вакуумного фильтрования ПВФ-47/1, производитель ЗАО «ВЛАДИСАРТ» (Россия); фильтры «Владисарт» ФМНЦ — 0,45 мкм — D47 мм, производитель ЗАО «ВЛАДИСАРТ» (Россия).

В исследованиях использовались методы сравнения и аналогии, анализа и синтеза, экспертной оценки. Результаты испытаний статистически обрабатывались с применением MS Excel и Statistica 10 с доверительной вероятностью 0,95. Достоверность полученных отличий устанавливали по t-критерию Стьюдента, статистически значимыми считали различия при $P \leq 0,05$.

3. Результаты и обсуждение

Сформулированы определения для термина «технологическая адекватность белого сахара (мелассы)»: технологическая адекватность белого сахара (мелассы) — комплексная характеристика соответствия определенных его (ее) функциональных свойств требованиям производства конкретного пищевого или непищевого продукта. Формализованное выражение характеристики получают через определенные показатели, индивидуализируемые исходя из сферы применения. Соответствие функциональных свойств белого сахара (мелассы) технологии конкретного продукта будет определяться заданным показателем (группой показателей) с определенными пределами варьирования, достижение которого гарантирует протекание процессов в оптимальных режимах и получение готового продукта высокого качества. Заданный показатель обозначили как индикаторный показатель технологической адекватности белого сахара (мелассы), который получает свое конкретное выражение в виде физико-химической характеристики состава или свойств, поскольку то или иное функциональное свойство белого сахара (мелассы) в технологии получения конкретного пищевого или непищевого продукта определяется, как правило, уровнем содержания какого-либо нутриента или их группы. Причем для сахара функциональные свойства проявляются в полной мере в отсутствии или при минимальном содержании нутриентов (исключая сахарозу), поскольку они оказывают отрицательное влияние на проявление его функциональных свойств в пищевых системах производства продуктов питания. Для мелассы присутствующие в ней нутриенты (включая сахарозу) могут оказывать как отрицательное, так и положительное влияние на проявление ее функциональных свойств в пищевых системах производства продуктов питания и в системах производства непищевых продуктов.

По результатам анализа требуемых функциональных характеристик белого сахара [4,56,57] сформирован перечень индикаторных показателей технологической адекватности при оценке белого сахара как сырьевого ингредиента для производства кондитерских изделий, напитков длительного хранения и алкогольных напитков, с указанием их предельных значений (Таблица 2). Они включают как показатели, нормируемые ГОСТ 33222, так и дополнительные характеристики, что согласуется с данными других исследователей сырья для производства пищевых продуктов [51,52] и с их выводами о необходимости введения дополнительных условий оценки [53]. Включение этих показателей в перечень индикаторных осуществлено исходя из знаний о их влиянии на технологический процесс получения конкретной продукции.

Так, при производстве кондитерских изделий верхние предельные значения содержания золы и цветности находятся на уровне нормативов белого сахара категории ТС2, поскольку более высокое содержание золы сокращает срок хранения шоколадной продукции, а повышенная цветность ухудшает качество леденцов. Использование белого сахара с содержанием кальция выше указанного затрудняет процесс варки сахаро-паточных сиропов и негативно отражается на качестве кондитерских изделий, а повышенная мутность не обеспечивает прозрачность карамельной и желейных масс, ухудшает презентабельность зефирных и помадных масс.

[9] ICUMSA Method GS2/3–18 (2013). The Determination of the Turbidity of White Sugar Solutions. ICUMSA Methods Book 2019. — Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2019. — 341 p.

[10] Руководство по организации контроля технологического потока производства сахара из сахароносного растительного сырья (сахарной свеклы). — Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2022. — 186 с.

[11] Чернявская Л. И., Пустоход А. П., Иволга Н. С. Технохимический контроль сахара-песка и сахара-рафинада. — М.: Колос, 1995. — 384 с.

Таблица 2. **Индикаторные показатели технологической адекватности белого сахара для разных промышленных потребителей**
Table 2. **Indicator markers of the technological adequacy of white sugar for various industrial consumers**

Наименование промышленного потребителя	Показатель технологической адекватности				
	содержание золы, %	содержание кальция, мг/кг	цветность в растворе, единиц ICUMSA	мутность в растворе, единиц ICUMSA	флокулообразующая способность
Производство кондитерских изделий	не более 0,036	не более 16,0	не более 104,0	не более 20,0	то*
Производство напитков длительного хранения	не более 0,015	то*	не более 35,0	не более 20,0	отсутствие
Производство алкогольных напитков	не более 0,015	не более 1,5	не более 30,0	то*	то*

Примечание: то* — требования отсутствуют.

Таблица 3. **Фактические физико-химические показатели и показатели технологической адекватности российского белого сахара**
Table 3. **Actual physical and chemical indicators and indicators of technological adequacy of Russian white sugar**

Показатель	Экстра	ТС1	ТС2	ТС3
Содержание сахарозы, %	99,80–99,91 99,87 ± 0,014	99,75–99,85 99,81 ± 0,009	99,70–99,82 99,79 ± 0,012	99,50–99,80 99,63 ± 0,024
Содержание редуцирующих веществ, %	0,01–0,02 0,01 ± 0,001	0,01–0,02 0,01 ± 0,001	0,01–0,04 0,02 ± 0,002	0,01–0,06 0,02 ± 0,003
Содержание золы,%	0,004–0,018 0,011 ± 0,0011	0,008–0,025 0,014 ± 0,0017	0,006–0,036 0,020 ± 0,0014	0,017–0,049 0,031 ± 0,0053
Цветность в растворе, ед. ICUMSA	20,0–45,0 41,1 ± 1,42	50,0–60,0 57,0 ± 1,48	50,0–104,0 88,1 ± 3,18	107,0–190,0 133,4 ± 8,43
Мутность раствора, ед. ICUMSA	1,0–21,0 11,5 ± 3,09	1,0–23,0 13,0 ± 2,88	10,0–67,0 33,1 ± 2,92	15,0–85,0 47,4 ± 7,73
Содержание кальция, мг/кг	10–50 18 ± 4,3	20–60 31 ± 5,2	20–90 42 ± 4,5	50–120 80 ± 8,4
Флокулообразующая способность	О/100	О/100	О/62 Н/28 С/8 В/2	О/28 Н/42 С/22 В/8

Для напитков длительного хранения органолептические показатели внешнего вида и цвета во многом зависят от цветности сахара и мутности его раствора, а также от находящейся в корреляционной зависимости с ними зольности. Верхние предельные значения содержания золы и цветности находятся ниже нормативов белого сахара категории «экстра», но применение белого сахара с более высокими величинами цветности, мутности и золы, а также обладающего флокулообразующей способностью может нести риск неполучения напитков с заданными качественными характеристиками.

Критерии оценки технологической адекватности белого сахара для производства разнообразной алкогольной продукции включают те показатели, которые могут привести к ухудшению ее качества. Даже незначительные дефекты сахара, к которым относят мутность и цветность раствора сахара, присутствие соединений кальция, вызывают существенные изменения органолептических характеристик и стойкости ликероводочной продукции, а также помутнение и появление осадка в коньяках. Поэтому верхние предельные значения содержания золы и цветности находятся ниже нормативов белого сахара категории «экстра», а содержание кальция — на уровне следовых количеств.

Данные результатов мониторинга образцов белого сахара показали, что все они соответствовали требованиям ГОСТ 33222. В Таблице 3 представлены результаты испытаний белого сахара по ряду нормируемых физико-химических и дополнительных показателей, характеризующих его технологическую адекватность; в числителе приведены диапазоны варьирования показателей, в знаменателе — средняя величина (полученная по алгоритмам дисперсионного анализа); для флокулообразующей способности в числителе приведен его уровень, в знаменателе — доля образцов, показавших соответствующий результат, в процентах.

Все показатели в выборках белого сахара разных категорий достоверно отличаются (расчетный t-критерий Стьюдента больше табличного $t_{0,05}$), за исключением содержания редуцирующих веществ белого сахара категорий экстра и ТС1. Это может объясняться близостью нутриентного состава белого сахара данных категорий в части содержания редуцирующих веществ как по причине близкого состава сахара данных категорий, так и по причине в целом низкого содержания редуцирующих веществ в сахаре всех категорий — гораздо ниже предельных нормируемых значений.

Анализ полученных результатов показывает, что по мере снижения категории белого сахара доля содержания сахарозы несколько снижается, но в пределах требований ГОСТ, а доля содержания микронутриентов увеличивается, как и показатели цветности и мутности растворов сахара. Флокулообразующая способность растворов сахара проявляется только для категорий ТС2 и ТС3, причем если в категории ТС2 такую способность проявили 38% образцов, то в категории ТС3–72%.

В Таблице 4 показано относительное повышение содержания микронутриентов в разрезе категорий сахара по отношению к сахару категории экстра, принятому за эталон (величины его показателей учитывались как 100%).

Таблица 4. **Относительный рост содержания микронутриентов в белом сахаре более низких категорий**
Table 4. **Relative increase in the content of micronutrients in white sugar of lower categories**

Наименование микронутриента	Экстра	ТС1	ТС2	ТС3
Содержание редуцирующих веществ	100	100	200	200
Содержание золы	100	127	182	282
Цветность раствора	100	139	214	325
Мутность раствора	100	113	288	412
Содержание кальция	100	172	233	444

Наиболее высокий рост по мере снижения категории сахара отмечен для показателя содержания кальция — более чем в 4 раза; практически такой же рост характерен и для мутности раствора сахара — в 4,1 раза; значительно возрастает цветность раствора сахара — в 3,2 раза. Наименьший рост отмечен для показателя содержания редуцирующих веществ — в 2 раза. Но если ограничить анализ категорией ТС2 как наиболее массовой по производству (около 85% от всего производимого белого сахара), то большинство показателей вырастет в среднем в 2 раза; показатель мутности — в 2,9 раза. Динамика относительного увеличения содержания микронутриентов также возрастает со снижением категории, а наиболее близкими являются значения для сахара категорий экстра и ТС1.

На Рисунке 1 представлены данные о коэффициентах парной корреляции показателей технологической адекватности для каждой категории сахара.

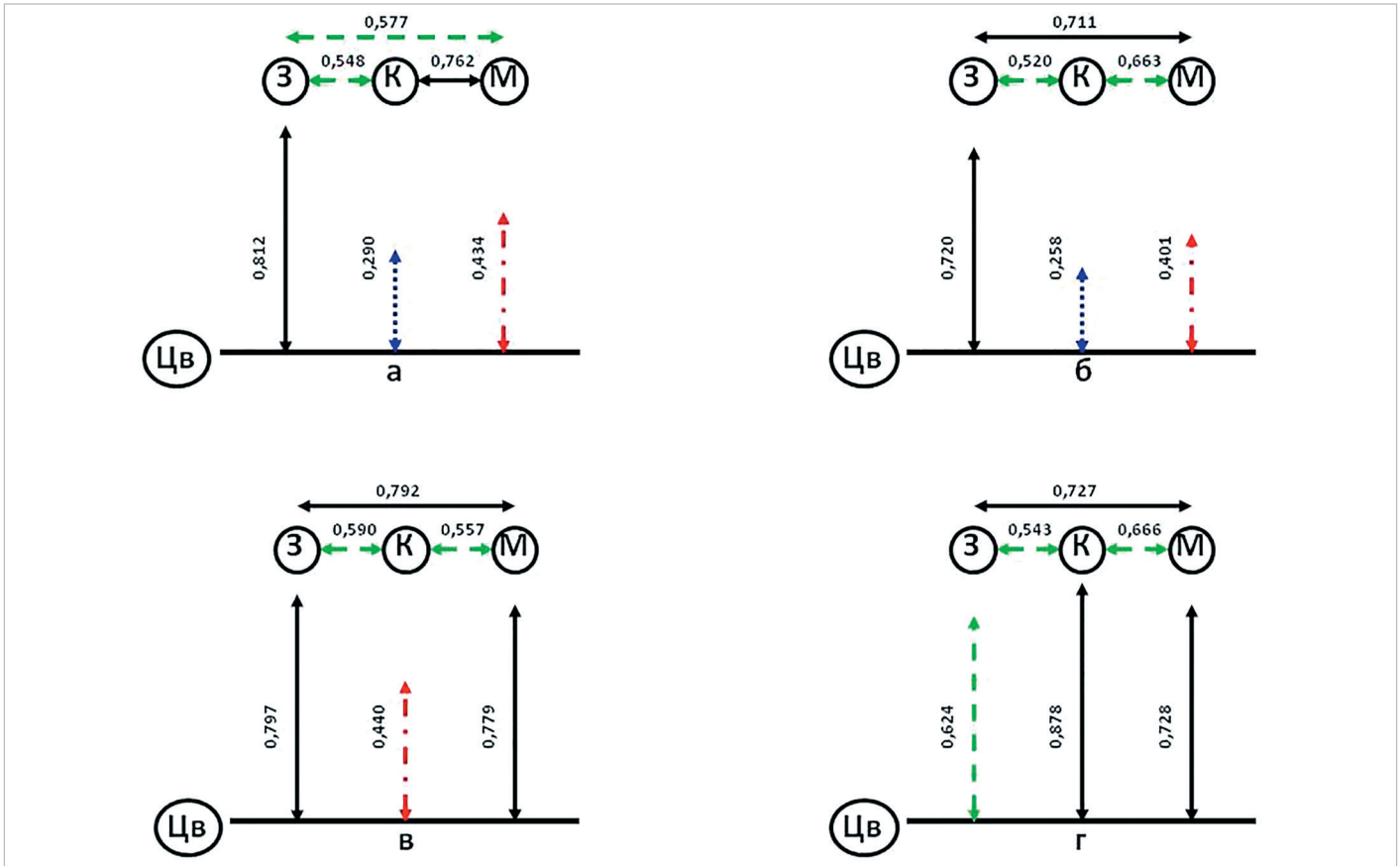


Рисунок 1. **Коэффициенты парной корреляции между показателями технологической адекватности белого сахара категории экстра (а), ТС1 (б), ТС2 (в), ТС3 (г)**
Цв — цветность; **З** — зола; **К** — кальций; **М** — мутность
вид связи: ◄——► сильная; ◄ - - ► заметная; ◄·—·► умеренная; ◄·····► слабая

Figure 1. Pair correlation coefficients between indicators of technological adequacy of white sugar categories: extra (a), TC1 (б), TC2 (в), TC3 (г)
Цв — colourity, **З** — ash, **К** — calcium, **М** — turbidity
connection type: ◄——► strong; ◄ - - ► noticeable; ◄·—·► moderate; ◄·····► weak

Для категории сахара экстра имеет место сильная корреляционная связь между содержанием золы и цветностью, содержанием кальция и мутностью; заметная связь прослеживается между содержанием золы и мутностью, содержанием золы и кальция; умеренная связь — между цветностью и мутностью; слабая связь определена между цветностью и содержанием кальция.

Для сахара категории ТС1 выявлена такая же сильная связь, как и для категории экстра, между содержанием золы и цветностью, заметная связь между содержанием золы и кальция; усиление связи между содержанием золы и мутности до сильной при ослаблении связи между содержанием кальция и мутностью до заметной.

Для сахара категории ТС2 наблюдается сильная связь между цветностью и содержанием золы, как и для сахара категорий экстра и ТС1. Также отмечена связь между содержанием золы и мутностью, как и для сахара категории ТС1. При этом для сахара категории ТС2 отмечается более сильная связь между цветностью и мутностью.

Сахар категории ТС3 характеризуется наличием сильной связи для 3 пар показателей и заметной связи для 3 пар показателей. Т. е. для сахара категории ТС3 выявлена самая сильная корреляционная связь между рассматриваемыми показателями, что подтверждает негативную роль микронутриентов в формировании показателей качества сахара: чем их содержание выше, тем ниже качество сахара.

В целом полученные результаты подтверждают сильную связь между содержанием золы и цветностью раствора для сахара всех категорий; усиление связи между мутностью раствора и цветностью, содержанием золы и мутностью с понижением категории сахара [54].

Вышеприведенные результаты являются новыми, такого рода исследования ранее не проводились и данные в научной литературе отсутствуют, поскольку дифференциация белого сахара на 4 категории введена в стране с 2016 г., со вступлением в силу ГОСТ 33222–2015. Полученные нами данные подтверждают эмпирические знания о повышении содержания микронутриентов при понижении категории, а также гипотезу о взаимосвязи отдельных показателей белого сахара. Указанное позволяет предположить, что технологическую адекватность при производстве большинства продуктов питания будет проявлять белый сахар более высоких категорий.

Выполнен сопоставительный анализ фактических характеристик технологической адекватности белого сахара с приведенными в Таблице 2 индикаторными показателями.

Все образцы сахара категории экстра и категории ТС1 в среднем удовлетворяют требованиям промышленных потребителей по большинству показателей, за исключением цветности и содержания кальция. При этом более низкая цветность — требование производителей напитков длительного хранения и алкогольных напитков. Но, как следует из Таблицы 3, нижняя граница цветности исследованных образцов категории экстра вполне удовлетворяет данным требованиям. Очевидно, что определенные партии сахара, доля которых составляет не более 20%, соответствуют требованиям указанных потребителей.

Ситуация с содержанием кальция несколько другая. Сахар категории экстра соответствует требованиям кондитерского производства, однако не отвечает требованиям для изготовления алкогольных напитков. Но в связи с тем, что потребность данной отрасли в сахаре относительно невелика, могут производиться отдельные партии более высокой степени очистки.

Сахар категории ТС2 в среднем может удовлетворять требования кондитерского производства по большинству показателей, за исключением мутности и содержания кальция. Но, как следует из Таблицы 3, нижняя граница мутности исследованных образцов удовлетворяет данным требованиям, т. е. около 30% сахара соответствует требованиям указанных потребителей. По содержанию кальция весь сахар категории ТС2 не удовлетворяет требованиям кондитерского производства.

По результатам впервые выполненного мониторинга технологической адекватности российского белого сахара установлены фактические пределы варьирования индикаторных показателей. Отмечено, что их величина возрастает по мере снижения категории сахара в 2–4 раза, а сырьевая ценность падает. Подтверждено пред-

положение о технологической адекватности белого сахара более высоких категорий. Так, показано, что наиболее предпочтительным по качеству, обладающим широким диапазоном технологической адекватности для использования в производстве разнообразных продуктов питания является сахар белый категорий экстра и ТС1. Лишь в отдельных случаях возможно применение сахара категории ТС2, удельный вес таких образцов в общей массе не превышает 62%. Следовательно, утверждение об отрицательном влиянии нутриентов на проявление функциональных свойств белого сахара при формулировке понятия индикаторного показателя его технологической адекватности является верным.

В Таблице 5 приведены систематизированные требования ГОСТ 30561 к мелассе и сформированные величины индикаторных показателей технологической адекватности по требованиям потребителей мелассы; там же указаны фактические показатели мелассы по результатам мониторинга (в числителе — диапазоны варьирования, в знаменателе — средние величины). Индикаторные показатели технологической адекватности мелассы, так же, как и белого сахара, включают нормируемые стандартом показатели и дополнительные. Причем одни нутриенты — сухие вещества, сахароза, сумма сбраживаемых сахаров — оказывают положительное влияние на проявление технологической адекватности мелассы; другие — редуцирующие вещества, кальций, α-аминный азот, диоксид серы — отрицательное.

Все проанализированные образцы мелассы соответствовали требованиям ГОСТ 30561. Содержание сухих веществ мелассы в среднем превышает нижний предел, зафиксированный в стандарте, и всех индикаторных показателей технологической адекватности. Содержание сахарозы в мелассе в среднем также превышает значения норматива и индикаторных показателей. Наличие редуцирующих веществ в мелассе в среднем невысокое и соответствует требованиям как нормативного документа, так и потребителей; указанное относится и к водородному показателю мелассы. Содержание кальция в мелассе не нормируется, но в отдельных образцах превышает уровни, обуславливающие пригодность использования ее в бродильных производствах и производстве лимонной кислоты, хотя в среднем соответствует этим требованиям. Уровень α-аминного азота в мелассе важен при хранении, а при промышленном использовании не нормируется, однако в среднем его содержание в мелассе незначительно превышает значение, определяющее ее хранимоспособность. Хотя показатель содержания диоксида серы в мелассе не нормируется стандартом, по полученным фактическим данным она пригодна для применения в бродильных производствах и в производстве лимонной кислоты. Не нормируется и сумма сбраживаемых сахаров мелассы, однако по данному показателю она соответствует требованиям при использовании в бродильном производстве.

Следовательно, уровень значений индикаторных показателей технологической адекватности мелассы для разных промышленных потребителей существенно отличается, что априори обуславливает разную ее сырьевую ценность. Результаты мониторинга показали, что химический состав мелассы не постоянен и имеет широкую вариативность, что позволяет удовлетворять дополнительные требования разных промышленных потребителей за счет использования определенных партий. Подтверждено, что нутриенты мелассы, определяющие технологическую адекватность, могут оказывать как отрицательное, так и положительное влияние на проявление ее функциональных свойств.

4. Выводы

Показано, что технологическая адекватность белого сахара и свекловичной мелассы является комплексной характеристикой соответствия определенных их функциональных свойств требованиям производства конкретного пищевого продукта, в котором они являются сырьевым ингредиентом; сформулированы определения данных терминов. Предложено обозначить меру соответствия требованиям через индикаторные показатели в виде физико-химических параметров состава или свойств белого сахара и мелассы. При этом установлено, что наличие нутриентов в белом сахаре оказывает отрицательное влияние на проявление его функциональных свойств, для мелассы присутствие нутриентов может проявляться как в положительном, так и отрицательном влиянии. На основании анализа научной информации сформированы индикаторные показатели технологической адекватности белого сахара для производства кондитерских изделий, безалкогольных напитков длительного хранения, алкогольных напитков; свекловичной мелассы — для хранения, при использовании в бродильных производствах, в производстве лимонной кислоты; установлены их предельные значения. Впервые исследована фактическая технологическая адекватность продукции свеклосахарного производства, выявлены пределы варьирования значений индикаторных показателей, установлены связи между отдельными показателями. Для белого сахара отмечен рост величин фактических значений индикаторных показателей в 2–4 раза по мере снижения категории сахара. Получено подтверждение эмпирических знаний о повышении содержания микронутриентов при понижении категории, а также гипотезы о взаимосвязи отдельных показателей белого сахара. Показано, что белый сахар категорий экстра и ТС1 обладает широким диапазоном технологической адекватности для использования в производстве пищевой продукции; сахар категории ТС2 только в 62% случаев обладал технологической адекватностью. Для свекловичной мелассы ввиду непостоянства ее химического состава технологическая адекватность для разных промышленных потребителей может быть обеспечена только за счет использования определенных партий мелассы. Практичность полученных результатов заключается в том, что они являются инструментом регулирования выпуска конкурентоспособной продукции свеклосахарного производства за счет оценки технологической адекватности белого сахара и мелассы; сделанные выводы будут способствовать развитию схемы контроля технологического потока получения сахара за счет введения в нее в качестве параметров контроля индикаторных показателей технологической адекватности.

Таблица 5. **Индикаторные показатели технологической адекватности свекловичной мелассыи их фактические значения**

Table 5. **Indicator markers of technological adequacy of beet molasses and their actual values**

Индикаторный показатель технологической адекватности	Требования ГОСТ 30561	Пределы варьирования показателя технологической адекватности			Фактическое значение показателя технологической адекватности
		хранение	БП	ЛК	
Содержание сухих веществ, %	не менее 75,0	78,0…80,0	не менее 75,0	не менее 75,0	75,6–84,2 / 80,2 ± 0,69
Содержание сахарозы, %	не менее 43,0	то*	не менее 46,0	не менее 46,0	47,0–58,7 / 50,8 ± 1,09
Содержание редуцирующих веществ, %	не более 1,0	не более 1,5	не более 0,5	не более 1,0	0,1–0,8 / 0,4 ± 0,22
Водородный показатель, pH	6,5…8,5	6,5…8,5	не менее 6,8	не менее 6,5	6,6–8,3 / 7,4 ± 0,26
Содержание кальция, % CaO	не нормируется	то*	не более 0,8	не более 0,7	0,1–1,1 / 0,5 ± 0,12
Содержание α-аминного азота, %	не нормируется	не более 0,3	то*	то*	0,19–0,54 / 0,32 ± 0,02
Содержание диоксида серы, %	не нормируется	то*	не более 0,05	не более 0,03	0,006–0,044 / 0,02 ± 0,004
Сумма сбраживаемых сахаров, %	не нормируется	то*	не менее 46,0	то*	47,2–51,5 / 50,2 ± 0,004

Примечание: то* — требования отсутствуют.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шердани, А. Д. (2021). Супербарботаж™ — инновационная технология очистки свекловичной мелассы. Сравнение с современными аналогами. *Сахар*, 5, 24–39. https://doi.org/10.24412/2413–5518–2021–5–24–39
2. Konar, N., Güneş, R., Palabiyik, I., Toker, O.S. (2022). Health conscious consumers and sugar confectionery: Present aspects and projections. *Trends in Food Science & Technology*, 123(3), 57–68. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.001
3. Резниченко, И. Ю., Щеглов, М. С. (2020). Сахарозаменители и подсластители в технологии кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 50(4), 576–587. http://doi.org/10.21603/2074–9414–2020–4–576–587
4. Тарасова, Е. А., Гурьева, К. Б., Славянский, А. А., Лебедева, Н. Н., Митрошина Д. П. (2021). Развитие национальной инфраструктуры качества в области сахарной промышленности. *Сахар*, 5, 20–23. https://doi.org/10.24412/2413–5518–2021–5–20–23
5. Панфилов, В. А., Белозеров, Г. А., Андреев, С. П. (2022). Аграрно-пищевые технологии как этап диалектики АПК. *Аграрно-пищевые инновации*, 1(17), 7–16. https://doi.org/10.31208/2618–7353–2022–17–7–16
6. Долгошева, Е. В., Романова, Т. Н., Коростелева, Л. А., Баймишев, Р. Х. (2021). Влияние сезона года на технологические свойства молока и качество сладкосливочного масла. *Пищевая промышленность*, 4, 12–15. https://doi.org/10.24412/0235–2486–2021–4–0034
7. Егорова, М. И., Пузанова, Л. Н., Хлюпина, С. В., Смирнова, Л. Ю. (2018). Оценка технологической адекватности свеклы сахарной для производства сахара. *Аграрная наука*, 7–8, 50–54.
8. Prada, M., Saraiva, M., Garrido, M. V., Rodrigues, D. L., Lopes, D. (2020). Knowledge about sugar sources and sugar intake guidelines in Portuguese consumers. *Nutrients*, 12(12), Article 3888. https://doi.org/10.3390/nu12123888
9. Lee, J. S., Srinivasan, R., Jo, I. G., Kwon, Y. S., Bahuguna, A., Oh, Y. S. et al. (2018). Comparative study of the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of some commercial refined and non-centrifugal sugars. *Food Research International*, 109, 614–625. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.047
10. Palmonari, A., Cavallini, D., Sniffen, C. J., Fernandes, L., Holder, P., Fagioli, L. et al. (2020). Short communication: Characterization of molasses chemical composition. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6244–6249. https://doi.org/10.3168/jds.2019–17644
11. Seguí, L., Calabuig-Jiménez, L., Betoret, N., Fito, P. (2015). Physicochemical and antioxidant properties of non-refined sugarcane alternatives to white sugar. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(12), 2579–2588. https://doi.org/10.1111/ijfs.12926
12. Iwuozor, K. O., Anyanwu, V. U., Olaniyi, B. O., Mbamalu, P. S., Adeniyi, A. G. (2022). Adulteration of sugar: A growing global menace. *Sugar Tech*, 24(3), 914–919. https://doi.org/10.1007/s12355–022–01122–6
13. Clemens, R. A., Jones, J. M., Kern, M., Lee, S-Y., Mayhew, E. J., Slavin, J. L. et al. (2016). Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 433–470. https://doi.org/10.1111/1541–4337.12194
14. Goldfien, K. R., Slavin, J. L. (2015). Why sugar is added to food: Food science 101. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 644–656. https://doi.org/10.1111/1541–4337.12151
15. Шобанова, Т. В., Творогова, А. А. (2021). Влияние замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир. *Техника и технология пищевых производств*, 51(3), 604–614. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2021–3–604–614
16. Van der Sman, R. G. M., Renzetti, S. (2019). Understanding functionality of sucrose in biscuits for reformulation purposes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(14), 2225–2239. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1442315
17. Казанцев, Е. В., Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С., Петрова, Н. А., Белова, И. А. (2022). Формирование пенообразной структуры кондитерских изделий. *Пищевые системы*, 5(1), 64–69. https://doi.org/10.21323/2618–9771–2022–5–1–64–69
18. Осипов, М. В., Кондратьев, Н. Б., Казанцев, Е. В., Белова, И. А. (2022). Использование антикристаллизаторов для повышения сохранности пастильных кондитерских изделий. *Пищевая промышленность*, 12, 57–61. https://doi.org/10.52653/PPI.2022.12.12.011
19. Nastaj, M., Mleko, S., Terpiłowski, K., Tomczyńaka-Mleko, M. (2021). Effect of sucrose on physicochemical properties of high-protein meringues obtained from whey protein isolate. *Applied Sciences*, 11(11), Article 4764. https://doi.org/10.3390/app11114764
20. Simoes, S., Lelaj, E., Rousseau, D. (2021). The presence of crystalline sugar limits the influence of emulsifiers on cocoa butter crystallization. *Food Chemistry*, 346, Article 128848. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128848
21. Лаптенок, Н. С., Дударева, А. Н., Севастей, Л. И., Горошнякова, С. Д. (2022). Влияние сахара на структурно-механические свойства хлебобулочных изделий из муки пшеничной первого сорта. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, 15(3), 62–68.
22. Мазукабзова, Э. В., Зайцева, Л. В. (2022). Органолептические, реологические и кристаллизационные свойства кондитерской глазури с порошком из свеклы. *Пищевые системы*, 5(2), 132–138. https://doi.org/10.21323/2618–9771–2022–5–2–132–138
23. Meza, B. E., Peralta, J-M., Zorrilla, S. E. (2021). Effect of temperature and composition on rheological behaviour and sagging capacity of glaze materials for foods. *Food Hydrocolloids*, 117(2), Article 106689. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106689
24. Wang, R, Hartel, R. W. (2021). Caramel stickiness: Effects of composition, rheology, and surface energy. *Journal of Food Engineering*, 289, Article 110246. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110246
25. Большакова, Е. И. (2022). Трегалоза и изомальтулоза в технологии сладких молочных консервов. *Техника и технология пищевых производств*, 52(4), 623–630. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2022–4–2391
26. Erickson, S., Carr, J. (2020). The technological challenges of reducing the sugar content of foods. *Nutritional Bulletin*, 45(3), 309–314. https://doi.org/10.1111/nbu.12454
27. Struck, S., Jaros, D., Brennan, C. S., Rohm, H. (2014). Sugar replacement in sweetened bakery goods. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(9), 1963–1976. https://doi.org/10.1111/ijfs.12617
28. Mahato, D. K., Keast, R., Liem, D. G., Russell, C. G., Cicerale, S., Gamlath, S. (2020). Sugar reduction in dairy food: An overview with flavoured milk as an example. *Foods*, 9(10), Article 1400. https://doi.org/10.3390/foods9101400
29. Туровская, С. Н., Кручинин, А. Г., Илларионова, Е. Е. (2023). Основные пороки сгущенного молока с сахаром в процессе хранения. *Пищевая промышленность*, 2, 66–70. https://doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.015
30. Riedel, R., Böhme, B., Rohm, H. (2015). Development of formulations for reduced-sugar and sugar-free agar-based fruit jellies. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1338–1344. https://doi.org/10.1111/ijfs.12787
31. Thorat, A. A., Forny, L., Meunier, V., Taylor, L. S., Mauer, L. J. (2018). Effects of mono-, di-, and tri-saccharides on the stability and crystallization of amorphous sucrose. *Journal of Food Science*, 83(11), 2827–2839. https://doi.org/10.1111/1750–3841.14357
32. Querioz, M. B., Sousa, F. R., da Silva, L. B., Alves, R. M. V., Alvim, I. D. (2022). Co-crystallized sucrose-soluble fiber matrix: Physicochemical and structural characterization. *LWT — Food Science and Technology*, 154, Article 112685. https://doi.org/10.1016/j.lwtt.2021.112685
33. Mordenti, A. L., Giaretta, E., Campidonico, L., Parazza, P., Formigoni, A. (2021). A review regarding the use of molasses in animal nutrition. *Animals*, 11(1), Article 115. https://doi.org/10.3390/ani11010115
34. Detman, A., Laubitz, D., Chojnacka, A., Wiktorowska-Sowa, E., Piotrowski, J., Salamon, A. et al. (2021). Dynamics and Complexity of Dark Fermentation Microbial Communities Producing Hydrogen From Sugar Beet Molasses in Continuously Operating Packed Bed Reactors. *Frontiers in Microbiology*, 11, Article 612344. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.612344
35. Золотин, А. Ю., Симоненко, С. В., Симоненко, Е. С., Вайнерман, Е. С., Антипова, Т. А., Седова, А. Е. (2019). Потребительская ценность пищевого продукта — как ее понимать в аспекте разработки продуктов. *Международный научно-исследовательский журнал*, 8–1(86), 62–67.
36. Щебетова, Е. И., Золотин, А. Ю., Симоненко, С. В., Симоненко, Е. С. (2022). Принципы разработки пищевых продуктов потенциально высокой потребительской ценности. *Пищевая промышленность*, 11, 106–109. https://doi.org/10.52653/PPI.2022.11.11.024
37. Борисова, А. В., Шаярова, М. В., Шишкина, Н. Ю. (2021). Функциональные продукты питания: связь между теорией, производством и потребителем. *Новые технологии*, 17(1), 21–32. https://doi.org/10.47370/2072–0920–2021–17–1–21–32
38. Дремучева, Г. Ф., Носова, М. В. (2021). Результаты исследований хлебопекарных свойств пшеничной муки с использованием реоферментометра. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 105–114. https://doi.org/10.36107/spfp.2021.238
39. Лисицын, А. Н., Марков, В. Н., Григорьева, В. Н., Тагиев, Ш. К., Ефимов, А. В. (2020). Изменение природной локализации масла в семенах как показатель их качества. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 4, 8–21. https://doi.org/10.36107/spfp.2020.369
40. Золотин, А. Ю., Симоненко, С. В., Симоненко, Е. С. (2020). Роль ингредиентов в формировании потребительской ценности пищевого продукта. *Пищевая промышленность*, 3, 29–33. https://doi.org/10.24411/0235–2486–2020–10030
41. Jeddi, M. Z., Boon, P. E., Cubadda, F., Hoogenboom, R., Mol, H., Verhagen, H. et al. (2022). A vision on the 'foodture' role of dietary exposure sciences in the interplay between food safety and nutrition. *Trends in Food Science and Technology*, 120, 288–300. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.024
42. Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H. et al. (2023). Functional foods and their impact on health. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 820–834. https://doi.org/10.1007/s13197–021–05193–3
43. Díaz-Mendez, C., Lozano-Cabedo, C. (2020). Food governance and healthy diet an analysis of the conflicting relationships among the actors of the agri-food system. *Trends in Food Science and Technology*, 105, 449–453. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.025
44. Вебер, А. Л., Леонова, С. А., Кондратьева, О. В. (2022). Потребительские свойства и потенциальная востребованность продукции "dairy alternatives" из отечественных сортов гороха и фасоли. *Техника и технология пищевых производств*, 52(1), 108–122. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2022–1–108–122
45. Gunes, R., Palabiyik, I., Konar, N., Toker, O. S. (2022). Soft confectionery products: Quality parameters, interactions with processing and ingredients. *Food Chemistry*, 385, Article 132735. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132735
46. Lim, S. A. H., Antony, J. A. (2016). Statistical process control readiness in the food industry: Development of a self-assessment tool. *Trends in Food Science and Technology*, 58, 133–139. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.025
47. Mayhew, E. J., Schmidt, S. J., Schlich, P., Lee, S. Y. (2018). Correlation of consumer perception of stickiness and contributing texture attributes to trained panelist temporal evaluations in a caramel system. *Food Quality and Preference*, 65, 72–80. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.11.009
48. Линовская, Н. В. Мазукабзова, Э. В. Кондратьев, Н. Б. Крылова, Э. Н. (2019). Изучение технологической адекватности сырьевых компонентов, используемых в производстве шоколадного полуфабриката. *Вестник МГУТУ*, 22(3), 404–412. https://doi.org/10.21443/1560–9278–2019–22–3–404–412
49. Фролова, Н. А. (2019). Потребительские свойства кондитерских изделий с заданным химическим составом. *Новые технологии*, 1(47), 208–215. https://doi.org/10.24411/2072–0920–2019–10121
50. Резниченко, И. Ю., Фролова, Н. А., Жарская, Е. Е., Ковальчук, Я. С., Соловьева, М.А. (2021). «Дерево свойств» в оценке потребительских критериев сахаристых кондитерских изделий. *Индустрия питания*, 6(1), 5–12. https://doi.org/10.29141/2500–1922–2021–6–1–1
51. Моисеева, А. А., Андриевская, Д. В., Ульянова, Е. В., Захарова, В. А. (2023). Методология оценки качества исходных виноматериалов для красных игристых вин. *Пищевая промышленность*, 3, 70–75. https://doi.org/10.52653/PPI.2023.3.3.014

52. Пряничникова, Н. С., Хуршудян, С. А. (2023). Матрица маркеров, границы качества и срок годности молочных продуктов. *Пищевая промышленность*, 2, 49–51. https://doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.011
53. Оганесянц, Л. А., Севостьянова, Е. М., Ганин, М. Ю. (2022). Установление идентификационных показателей для лечебных природных минеральных вод. *Пищевая промышленность*, 12, 10–15. https://doi.org/10.52653/PPI.2022.12.12.002
54. Егорова, М. И., Пузанова, Л. Н., Михалева, И. С., Кретова, Я. А. (2021). Результаты мониторинга флокулообразующей способности растворов белого сахара. *Достижения науки и техники АПК*, 35(3), 67–72. https://doi.org/10.24411/0235–2451–2021–10312
55. Егорова, М. И., Широких, Е. В., Райник В. В., Кретова, Я. А. (2017). Теория йодометрического определения диоксида серы в мелассе. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 8, 8–13.
56. Андриевская, Д. В., Захаров, М. А., Ульянова, Е. В., Трофимченко, В. А. (2021). Исследование влияния сахаросодержащего сырья на процесс отдыха (выдержки) купажей спиртных напитков. *Пиво и напитки*, 1, 16–20. https://doi.org/10.24412/2072–9650–2021–1–0004
57. Miller, E., Hartel, R.W. (2015). Sucrose crystallization in caramel. *Journal of Food Engineering*, 153, 28–38. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.028

REFERENSES

1. Sherdani, A. D. (2021). Superbarbotage™ as an innovative technology of beet molasses processing. Comparison with modern analogues. *Sugar*, 5, 24–39. https://doi.org/10.24412/2413–5518–2021–5–24–39 (In Russian)
2. Konar, N., Güneş, R., Palabiyik, I., Toker, O. S. (2022). Health conscious consumers and sugar confectionery: Present aspects and projections. *Trends in Food Science and Technology*, 123(3), 57–68. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.001
3. Reznichenko, I. Yu., Shcheglov, M. S. (2020). Sugar substitutes and sweeteners in confectionary technology. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(4), 576–587. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2020–4–576–587 (In Russian)
4. Tarasova, E. A., Guryeva, K. B., Slavyanskiy, A. A., Lebedeva, N. N., Mitroshina, D. P. (2021). Development of a national quality infrastructure in the sugar industry. *Sugar*, 5, 20–23. https://doi.org/10.24412/2413–5518–2021–5–20–23 (In Russian)
5. Panfilov, V. A., Belozerov, G. A., Andreev, S. P. (2022). Agrarian and food technologies as a stage of the agricultural and industrial complex dialectics. *Agrarian-And-Food Innovations*, 1(17), 7–16. https://doi.org/10.31208/2618–7353–2022–17–7–16 (In Russian)
6. Dolgosheva, E. V., Romanova, T. N., Korosteleva, L. A., Baimishev, R. N. (2021). Influence of the season on the technological properties of milk and quality of sweet-cream butter. *Food Industry*, 4, 12–15. https://doi.org/10.24412/0235–2486–2021–4–0034 (In Russian)
7. Egorova, M. I., Puzanova, L. N., Hlyupina, S. V., Smirnova, L. Yu. (2018). Evaluation of technical adequacy of sugar beets for sugar production. *Agrarian Science*, 7–8, 50–54. (In Russian)
8. Prada, M., Saraiva, M., Garrido, M. V., Rodrigues, D. L., Lopes, D. (2020). Knowledge about sugar sources and sugar intake guidelines in Portuguese consumers. *Nutrients*, 12(12), Article 3888. https://doi.org/10.3390/nu12123888
9. Lee, J. S., Srinivasan, R., Jo, I. G., Kwon, Y. S., Bahuguna, A., Oh, Y. S. et al. (2018). Comparative study of the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of some commercial refined and non-centrifugal sugars. *Food Research International*, 109, 614–625. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.047
10. Palmonari, A., Cavallini, D., Sniffen, C. J., Fernandes, L., Holder, P., Fagioli, L. et al. (2020). Short communication: Characterization of molasses chemical composition. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6244–6249. https://doi.org/10.3168/jds.2019–17644
11. Seguí, L., Calabuig-Jiménez, L., Betoret, N., Fito, P. (2015). Physicochemical and antioxidant properties of non-refined sugarcane alternatives to white sugar. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(12), 2579–2588. https://doi.org/10.1111/ijfs.12926
12. Iwuozor, K. O., Anyanwu, V. U., Olaniyi, B. O., Mbamalu, P. S., Adeniyi, A. G. (2022). Adulteration of sugar: A growing global menace. *Sugar Tech*, 24(3), 914–919. https://doi.org/10.1007/s12355–022–01122–6
13. Clemens, R. A., Jones, J. M., Kern, M., Lee, S-Y., Mayhew, E. J., Slavin, J. L. et al. (2016). Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 433–470. https://doi.org/10.1111/1541–4337.12194
14. Goldfien, K. R., Slavin, J. L. (2015). Why sugar is added to food: Food science 101. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 644–656. https://doi.org/10.1111/1541–4337.12151
15. Shobanova, T. V., Tvorogova, A. A. (2021). The effect of replacing sucrose with glucose-fruit syrup on the quality indicators of plombières ice-cream. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(1), 604–514. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2021–3–604–614 (In Russian)
16. Van der Sman, R. G. M., Renzetti, S. (2019). Understanding functionality of sucrose in biscuits for reformulation purposes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(14), 2225–2239. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1442315
17. Kazantsev, E. V., Kondratev, N. B., Rudenko, O. S., Petrova, N. A., Belova, I. A. (2022). Formation of a foamy structure of confectionery pastille products. *Food Systems*, 5(1), 64–69. https://doi.org/10.21323/2618–9771–2022–5–1–64–69 (In Russian)
18. Osipov, M. V., Kondratev, N. B., Kazantsev, E. V., Belova, I. A. (2022). The use of anti-crystallizers to increase the preservation pastille confectionery. *Food Industry*, 12, 57–61. https://doi.org/10.52653/PPI.2022.12.12.011 (In Russian)
19. Nastaj, M., Mleko, S., Terpiłowski, K., Tomczyńaka-Mleko, M. (2021). Effect of sucrose on physicochemical properties of high-protein meringues obtained from whey protein isolate. *Applied Sciences*, 11(11), Article 4764. https://doi.org/10.3390/app11114764
20. Simoes, S., Lelaj, E., Rousseau, D. (2021). The presence of crystalline sugar limits the influence of emulsifiers on cocoa butter crystallization. *Food Chemistry*, 346, Article 128848. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128848
21. Laptenok, N. S., Dudareva, A. N., Sevastei, L. I., Goroshniakova, S. D. (2022). Influence of sugar on the structural and mechanical properties of bakery products from first grade wheat flour. *Food Industry: Science and Technologies*, 15(3), 62–68.
22. Mazukabzova, E. V., Zaytseva, L. V. (2022). Organoleptic, rheological and crystallization properties of confectionery glaze with beet powder. *Food Systems*, 5(2), 132–138. https://doi.org/10.21323/2618–9771–2022–5–2–132–138 (In Russian)
23. Meza, B. E., Peralta, J-M., Zorrilla, S. E. (2021). Effect of temperature and composition on rheological behaviour and sagging capacity of glaze materials for foods. *Food Hydrocolloids*, 117(2), Article 106689. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106689
24. Wang, R., Hartel, R. W. (2021). Caramel stickiness: Effects of composition, rheology, and surface energy. *Journal of Food Engineering*, 289, Article 110246. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110246
25. Bolshakova, E. I. (2022). Trehalose and isomaltulose in the technology of sweetened condensed milk. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(4), 623–630. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2022–4–2391 (In Russian)
26. Erickson, S., Carr, J. (2020). The technological challenges of reducing the sugar content of foods. *Nutritional Bulletin*, 45(3), 309–314. https://doi.org/10.1111/nbu.12454
27. Struck, S., Jaros, D., Brennan, C. S., Rohm, H. (2014). Sugar replacement in sweetened bakery goods. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(9), 1963–1976. https://doi.org/10.1111/ijfs.12617
28. Mahato, D. K., Keast, R., Liem, D. G., Russell, C. G., Cicerale, S., Gamlath, S. (2020). Sugar reduction in dairy food: An overview with flavoured milk as an example. *Foods*, 9(10), Article 1400. https://doi.org/10.3390/foods9101400
29. Turovskaya, S. N., Kruchinin, A. G, Illarionova, E. E. (2023). The main defects of sweetened condensed milk during storage. *Food Industry*, 2, 66–70. https://doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.015 (In Russian)
30. Riedel, R., Böhme, B., Rohm, H. (2015). Development of formulations for reduced-sugar and sugar-free agar-based fruit jellies. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1338–1344. https://doi.org/10.1111/ijfs.12787
31. Thorat, A. A., Forny, L., Meunier, V., Taylor, L. S., Mauer, L. J. (2018). Effects of mono-, di-, and tri-saccharides on the stability and crystallization of amorphous sucrose. *Journal of Food Science*, 83(11), 2827–2839. https://doi.org/10.1111/1750–3841.14357
32. Querioz, M. B., Sousa, F. R., da Silva, L. B., Alves, R. M. V., Alvim, I. D. (2022). Co-crystallized sucrose-soluble fiber matrix: Physicochemical and structural characterization. *LWT — Food Science and Technology*, 154, Article 112685. https://doi.org/10.1016/j.lwtt.2021.112685
33. Mordenti, A. L., Giaretta, E., Campidonico, L., Parazza, P., Formigoni, A. (2021). A review regarding the use of molasses in animal nutrition. *Animals*, 11(1), Article 115. https://doi.org/10.3390/ani11010115
34. Detman, A., Laubitz, D., Chojnacka, A., Wiktorowska-Sowa, E., Piotrowski, J., Salamon, A. et al. (2021). Dynamics and complexity of dark fermentation microbial communities producing hydrogen from sugar beet molasses in continuously operating packed bed reactors. *Frontiers in Microbiology*, 11, Article 612344. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.612344
35. Zolotin, A. Yu., Simonenko, S. V., Simonenko, E. S, Weinerman, E. S., Antipova, T. A., Sedova, A. E. (2019). Consumer value of food product — how to understand it in the aspect of product development. *International Research Journal*, 8–1(86), 62–67. (In Russian)
36. Schebetova, E. I., Zolotin, A. Yu., Simonenko, S. V., Simonenko, E. S. (2022). Principles of the development of food products of potentially high consumer value. *Food Industry*, 11, 106–109. https://doi.org/10.52653/PPI.2022.11.11.024 (In Russian)
37. Borisova, A. V., Shayarova, M. V., Shishkina, N. Yu. (2021). Functional food products: The relationship between the theory, the production and a consumer. *New Technologies*, 17(1), 21–32. https://doi.org/10.47370/2072–0920–2021–17–1–21–32 (In Russian)
38. Dremucheva, G. F., Nosova, M. V. (2021). Results of studies of the baking properties of wheat flour using a rheofermentometer. *Storage and Processing of Farm Products*, 3, 105–114. https://doi.org/10.36107/spfp.2021.238 (In Russian)
39. Lisitsyn, A. N., Markov, V. N., Grigorjeva, V. N., Tagiev, Sh. K., Efimov, A. V. (2020). Changing the natural localization of oil in seeds as an indicator of their quality. *Storage and Processing of Farm Products*, 4, 8–21. https://doi.org/10.36107/spfp.2020.369 (In Russian)
40. Zolotin, A. Yu., Simonenko, S. V., Simonenko, E. S. (2020). The role of ingredients in the formation of consumer value of a food product. *Food Industry*, 3, 29–33. https://doi.org/10.24411/0235–2486–2020–10030 (In Russian)
41. Jeddi, M. Z., Boon, P. E., Cubadda, F., Hoogenboom, R., Mol, H., Verhagen, H. et al. (2022). A vision on the 'foodture' role of dietary exposure sciences in the interplay between food safety and nutrition. *Trends in Food Science and Technology*, 120, 288–300. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.024
42. Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H. et al. (2023). Functional foods and their impact on health. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 820–834. https://doi.org/10.1007/s13197–021–05193–3
43. Díaz-Mendez, C., Lozano-Cabedo, C. (2020). Food governance and healthy diet an analysis of the conflicting relationships among the actors of the agri-food system. *Trends in Food Science and Technology*, 105, 449–453. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.025
44. Veber, A. L., Leonova, S. A., Kondrateva, O. V. (2022). Consumer qualities and potential relevance of dairy alternatives from domestic beans and peas. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(1), 108–122. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2022–1–108–122 (In Russian)
45. Gunes, R., Palabiyik, I., Konar, N., Toker, O. S. (2022). Soft confectionery products: Quality parameters, interactions with processing and ingredients. *Food Chemistry*, 385, Article 132735. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132735
46. Lim, S. A. H., Antony, J. A. (2016). (2016). Statistical process control readiness in the food industry: Development of a self-assessment tool. *Trends in Food Science and Technology*, 58, 133–139. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.025
47. Mayhew, E. J., Schmidt, S. J., Schlich, P., Lee, S. Y. (2018). Correlation of consumer perception of stickiness and contributing texture attributes to trained panelist temporal evaluations in a caramel system. *Food Quality and Preference*, 65, 72–80. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.11.009

48. Linovskaya, N. V., Mazukabzova, E. V., Kondratyev, N. B., Krylova, E. N. (2019). The study of the technological adequacy of raw materials used in the production of chocolate semi-finished product. *Vestnik of MSTU*, 22(3), 404–412. https://doi.org/10.21443/1560–9278–2019–22–3–404–412 (In Russian)
49. Frolova, N. A. (2019). Consumer properties of confectionery products with ordered chemical composition. *New Technologies*, 1(47), 208–215. https://doi.org/10.24411/2072–0920–2019–10121 (In Russian)
50. Reznichenko, I. Yu., Frolova, N. A, Zharskaya, E. E, Kovalchuk, Y. S., Solovyova, M. A. (2021). "Properties Tree" in the consumer criteria evaluation for sugary confectionary products. *Food Industry*, 6(1), 5–12. https://doi.org/10.29141/2500–1922–2021–6–1–1 (In Russian)
51. Moiseeva, A. A., Andrievskaya, D. V., Ul'yanova, E. V., Zaharova, V. A. (2023). Methodology for assessing the quality of raw wine materials for red sparkling wines. *Food Industry*, 3, 70–75. https://doi.org/10.52653/PPI.2023.3.3.014 (In Russian)
52. Pryanichnikova, N. S., Khurshudyan, S. A. (2023). Matrix of markers, quality limits and shelf life of dairy products. *Food Industry*, 2, 49–51. https://doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.011 (In Russian)
53. Oganesyants, L. A., Sevost'yanova, E. M, Ganin, M. Yu. (2022). Establishment of identification indicators for medicinal natural mineral waters. *Food Industry*, 12, 10–15. https://doi.org/10.52653/PPI.2022.12.12.002 (In Russian)
54. Egorova, M. I., Puzanova, L. N., Mikhaleva, I. S., Kretova, Ya. A. (2021). Results of monitoring the floccules-forming ability of white sugar solutions. *Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex*, 35(3), 67–72. https://doi.org/10.24411/0235–2451–2021–10312 (In Russian)
55. Egorova, M. I., Shirokih, E. V., Raynik, V. V., Kretova, Ja. A. (2017). Theory of iodometric determination of sulfur dioxide in molasses. *Storage and Processing of Farm Products*, 8, 8–13 (In Russian)
56. Andryevskaya, D. V., Zakharov, M. A., Ulyanova, E. V., Trofimchenko, V. A. (2021). The influence investigation of sugar-containing raw materials on the rest (aging) process of alcoholic beverages blends. *Beer and Beverages*, 1, 16–29. https://doi.org/10.24412/2072–9650–2021–1–0004 (In Russian)
57. Miller, E., Hartel, R. W. (2015). Sucrose crystallization in caramel. *Journal of Food Engineering*, 153, 28–38. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.028

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Егорова Марина Ивановна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Курский федеральный аграрный научный центр 305021, Курск, ул. Карла Маркса, 70б Тел.: +7–4712–53–11–16 E-mail: rniisp@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0003–1333–7377 * автор для контактов	**Marina I. Egorova,** Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Federal Agricultural Kursk Research Center 70b, Karla Marksa Str., 305021, Kursk, Russia Tel.: +7–4712–53–11–16 E-mail: rniisp@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0003–1333–7377 * corresponding author
Пузанова Любовь Николаевна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Курский федеральный аграрный научный центр 305021, Курск, ул. Карла Маркса, 70б Тел.: +7–4712–58–42–29 E-mail: lyubov.puzanowa@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–0857–5744	**Lyubov N. Puzanova,** Candidate of Agrarian Sciences, Leading Researcher, Federal Agricultural Kursk Research Center 70b, Karla Marksa Str., 305021, Kursk, Russia Tel.: +7–4712–58–42–29 E-mail: lyubov.puzanowa@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–0857–5744
Михалева Ирина Сергеевна — старший научный сотрудник, Курский федеральный аграрный научный центр 305021, Курск, ул. Карла Маркса, 70б Тел.: +7–4712–53–74–01 E-mail: ismihaleva@ mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–3359–8785	**Irina S. Mikhaleva,** Senior Researcher, Federal Agricultural Kursk Research Center 70b, Karla Marksa Str., 305021, Kursk, Russia Tel.: +7–4712–53–74–01 E-mail: ismihaleva@ mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–3359–8785
Власенко Анна Сергеевна — младший научный сотрудник, Курский федеральный аграрный научный центр 305021, Курск, ул. Карла Маркса, 70б Тел.: +7–4712–53–74–01 E-mail: aniuta.kurdiuckova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–5998–8699	**Anna S. Vlasenko,** Junior Researcher, Federal Agricultural Kursk Research Center 70b, Karla Marksa Str., 305021, Kursk, Russia Tel.: +7–4712–53–74–01 E-mail: aniuta.kurdiuckova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–5998–8699
Критерии авторства	**Contribution**
Егорова Марина Ивановна — руководство исследованием, разработка его концепции и методологии, анализ результатов исследований, написание рукописи; **Пузанова Любовь Николаевна** — обзор литературных источников по исследуемой проблеме, обоснование индикаторных показателей технологической адекватности и их пороговых значений, обработка экспериментальных данных, коррекция рукописи до подачи ее в редакцию; **Михалева Ирина Сергеевна** — поиск литературных источников по исследуемой проблеме, отбор образцов сахара и мелассы, проведение экспериментальной части; **Власенко Анна Сергеевна** — проведение экспериментальной части. Авторы одинаково несут ответственность за плагиат.	**Marina I. Egorova** — research management, development of its concept and methodology, analysis of research results, writing the manuscript; **Lyubov N. Puzanova** — review of literature sources on the problem under study, substantiation of indicator marks of technological adequacy and their threshold values, processing of experimental data, correction of the manuscript before submitting it to the editor; **Irina S. Mikhaleva** — search for literary sources on the problem under study, sampling of sugar and molasses, conducting the experimental part; **Anna S. Vlasenko** — conducting the experimental part. The authors are equally responsible for plagiary.
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-308-316

Поступила 22.05.2023
Поступила после рецензирования 28.07.2023
Принята в печать 02.08.2023
© Творогова А. А., Шобанова Т. В., Гурский И. А., Казакова Н. В., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОРОЖЕНОГО ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА ЛАКТОЗЫ

Творогова А. А., Шобанова Т. В., Гурский И. А.*, Казакова Н. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
вязкость, криоскопическая температура, скорость таяния, структура, консистенция, микроструктура

АННОТАЦИЯ

Мороженое является популярной разновидностью молочной продукции, содержащей до 6% лактозы. В связи с непереносимостью лактозы значительной частью потребителей и возможностью ее кристаллизации при хранении готового продукта, существует необходимость снижения содержания этого нутриента в составе данного продукта. Целью исследований является изучение влияния процесса гидролиза лактозы в мороженом с массовой долей жира 15% и с различной массовой долей сухого обезжиренного молочного остатка на технологически значимые и органолептические показатели его качества. Основными объектами исследования служили образцы мороженого, подвергнутые гидролизу лактозы на стадии созревания смеси. Массовая доля жира в образцах составляла 15%, а массовая доля сухого обезжиренного молочного остатка — 7, 10, 12 и 15%. Состав сахаров определяли с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии, динамическую вязкость смесей и консистенцию мороженого — реологическими методами, дисперсность структурных элементов — микроскопированием. Установлено влияние массовой доли сухого обезжиренного остатка при проведении гидролиза лактозы на показатели качества смеси и мороженого. По мере увеличения массовой доли сухого молочного остатка с 7 до 15% отмечено повышение остаточного содержания лактозы с 0,2 до 1,1% и динамической вязкости смеси в 1,3 раза, а также понижение криоскопической температуры на 0,6–0,8 °С и повышение термоустойчивости. Массовая доля плава через 2 ч выдерживания снизилась до 4,7–0,7%. Также уменьшились значения показателей консистенции — твердость, клейкость, адгезионная сила и жесткость — в 1,1–1,7 раза (при массовой доле сухого обезжиренного молочного остатка 7 и 10%). Образцы мороженого, подвергнутые гидролизу лактозы, отличались высокой дисперсностью структурных элементов, характерной для традиционного продукта, а также улучшением показателей текстуры и повышением ощущения сладости. Комплекс исследований по изучению показателей качества мороженого с массовой долей жира 15% показал, что изменение массовой доли СОМО при проведении ферментативного гидролиза лактозы приводит к формированию различающихся структурно-механических и органолептических показателей, что необходимо учитывать при составлении ассортимента и при разработке рецептурного состава низколактозных продуктов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022–0013 ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.

Received 22.05.2023
Accepted in revised 28.07.2023
Accepted for publication 02.08.2023
© Tvorogova, A. A., Shobanova, T. V., Gurskiy, I. A., Kazakova, N. V., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

THE QUALITY INDICATORS OF ICE CREAM UPON THE ENZYMATIC HYDROLYSIS OF LACTOSE

Antonina A. Tvorogova, Tatyana V. Shobanova, Igor A. Gurskiy*, Natalia V. Kazakova

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:
viscosity, freezing point, melting rate, structure, consistency, microstructure

ABSTRACT

Ice cream is a popular type of dairy foods containing up to 6% of lactose. In connection with the lactose intolerance by many consumers and the possibility of its crystallization during storage of finished products, there is a need for a decrease in the content of this nutrient in the composition of ice cream. The aim of the research was to study an effect of the lactose hydrolysis process in ice cream with the fat mass fraction of 15% and different mass fractions of dry skim milk residue on technologically significant and sensory properties of its quality. The main objects of the study were samples of ice cream subjected to lactose hydrolysis at the stage of mixture maturation. The fat mass fraction in the samples was 15%, mass fractions of dry skim milk residue were 7, 10, 12 and 15%. The composition of sugars was determined by high-performance liquid chromatography, the dynamic viscosity of mixes and the consistency of ice cream by rheological methods and the dispersion of structural elements by microcopy. The effects of the mass fraction of dry skim milk residue and lactose hydrolysis on quality indicators of mixtures and ice cream were determined. As the mass fraction of dry skim milk residue rose from 7 to 15%, the residual content of lactose increased from 0.2 to 1.1%, while the dynamic viscosity of the mixture increased by 1.3 times. A decrease in the freezing point by 0.6–0.8 °C and an increase in melting resistance were also observed. The mass fraction of melt after 2 hours of holding decreased to 4.7–0.7%. Also, indicators of consistency (hardness, adhesiveness, adhesion force and rigidity) decreased by 1.1–1.7 times (upon a mass fraction of dry skim milk residue of 7 and 10%). The samples of ice cream subjected to lactose hydrolysis were characterized by a high dispersion of structural elements typical for a traditional product, and by improved texture and increased sensation of sweetness. The complex of investigations to study quality indicators of ice cream with the fat mass fraction of 15% showed that a change in the mass fraction of dry skim milk residue upon enzymatic hydrolysis of lactose results in formation of different structural-mechanical and sensory indicators that should be considered during the creation of assortment and development of formulations of low-lactose products.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS-2022–0013 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Творогова, А. А., Шобанова, Т. В., Гурский, И. А., Казакова, Н. В.** (2023). Показатели качества мороженого при проведении ферментативного гидролиза лактозы. *Пищевые системы*, 6(3), 308-316. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-308-316

FOR CITATION: **Tvorogova, A. A., Shobanova, T. V., Gurskiy, I. A., Kazakova, N. V.** (2023). The quality indicators of ice cream upon the enzymatic hydrolysis of lactose. *Food Systems*, 6(3), 308-316. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-308-316

1. Введение

Лактоза представляет собой дисахарид, состоящий из глюкозы и галактозы, соединенных β-1,4 гликозидной связью. Лактоза присутствует только в молоке и молочных продуктах, ее содержание в коровьем молоке в среднем составляет 4,8% [1].

При рассмотрении лактозы с точки зрения современных представлений о рациональном питании человека принимают во внимание целый ряд аспектов. В частности, лактоза является источником углеводов, суточная потребность в которых составляет более 400 г, что в 4–5 раз превышает потребности организма в белках и жирах. Лактоза, как и все сахара, служит источником энергии, необходимой для осуществления биохимических процессов в организме. Она гидролизуется до глюкозы и галактозы ферментом лактаза (β-галактозидаза) в кишечнике. Однако активность этого фермента снижается у значительной части населения по мере старения, что приводит к непереносимости лактозы и к возникновению проблем с пищеварением у потребителей [2]. В некоторых странах такие симптомы встречаются у 65–76% населения [3,4]. Стоит отметить, что степень непереносимости лактозы зависит от ее количества в продукте, и малые дозы лактозы чаще всего хорошо переносятся [5]. В связи с этим в России, как и во всех индустриально развитых странах мира, актуальны разработки продуктов питания специального назначения [6]. К ним относится также молочная безлактозная и низколактозная продукция.

В производстве мороженого лактозу можно отнести к проблемному компоненту из-за ее низкой растворимости по сравнению с другими дисахаридами. В частности, растворимость лактозы в 5 раз ниже растворимости сахарозы. Низкая растворимость лактозы приводит к ее кристаллизации в насыщенных растворах [7], что особенно важно учитывать при замораживании. По мере снижения температуры в области отрицательных значений в мороженом уменьшается содержание свободной воды, что приводит к увеличению концентрации лактозы и вероятности ее кристаллизации [8].

Содержание лактозы в мороженом в значительной степени зависит от массовой доли СОМО. Зарубежными исследователями регламентируется массовая доля СОМО для мороженого от 8% до 15% [9,10]. Наибольшее значение СОМО установлено с учетом вероятности появления порока «органолептически ощутимые кристаллы лактозы», а наименьшее присвоено такому показателю, как слабовыраженный молочный вкус. Порок «мучнистость» проявляется в мороженом при наличии кристаллов лактозы размером более 10 мкм, «песчанистость» — при размере кристаллов более 20 мкм. Риск их появления возрастает по мере увеличения содержания лактозы, при этом перенасыщенным является ее раствор с концентрацией 5,4%, достигаемой при массовой доле СОМО 10%. Однако молочный вкус мороженого усиливается при увеличении массовой доли СОМО [11].

Чтобы решить технологические проблемы и удовлетворить спрос потребителей с непереносимостью лактозы, пищевая промышленность производит широкий спектр безлактозных или с пониженным содержанием лактозы продуктов. Способы снижения содержания лактозы включают проведение ферментации [12,13] или полную замену компонентов, содержащих лактозу. Даже процесс молочнокислого брожения не приводит к полному гидролизу лактозы, что не позволяет получить безлактозные и низколактозные продукты. В работе [14] представлена технология безлактозного замороженного йогурта (кисломолочного мороженого) с использованием ферментативного гидролиза лактозы. В этом исследовании процесс ферментативного гидролиза в смесях проводили при температуре (44 ± 1) °С; доза препарата составляла 2,5 г/л, что соответствовало 2500 ед. лактазы на литр, длительность ферментации составляла 0,5 часа. В результате содержание лактозы было снижено с 4,4% до 1,5%.

На рынке ряда стран (Финляндия, Швеция и Россия) реализуется безлактозное мороженое финского концерна Valio. Мороженое производится на основе безлактозного молока, полученного в Финляндии. Технология этой фирмы позволяет выпускать молоко с содержанием лактозы не более 0,01%, поэтому такой продукт могут употреблять лица с высокой чувствительностью к лактозе. Мембранные технологии фирмы Valio базируются на ультрафильтрационной обработке молока. В этом случае из молока удаляется часть лактозы, поскольку мембраны задерживают высокомолекулярные компоненты молока и пропускают низкомолекулярные соединения (лактоза, минеральные вещества и т. п.). Когда в молоке обеспечивается минимальная по технологии концентрация лактозы, дополнительно проводится ферментативный гидролиз оставшейся лактозы путем добавления в молоко фермента лактазы. На основе разработанного продукта фирма выпускает целый ряд молочных продуктов без лактозы.

Анализ и систематизация литературных данных по разработке технологии низколактозного мороженого подтвердил, что использование ферментного препарата β-галактозидазы является наиболее распространенным способом снижения количества лактозы при производстве продукции данной категории. Авторами работы [14] было получено кисломолочное мороженое при использовании гидролиза лактозы с остаточным ее содержанием не более 0,05% с сохранением высоких потребительских свойств продукта. В своей работе Tsuchiya и др., используя β-галактозидазу в мороженом с концентратами различных белков, содержащими лактозу, достигли степени ее гидролиза 86–97%, при этом, как и в предыдущем исследовании с кисломолочным мороженым, показатели либо не изменялись, либо улучшались [15]. Авторами работы [16] также были получены образцы мороженого с 80–90% гидролизованной лактозы. В работе [17] Osmak и др. удалось подвергнуть гидролизу до 85% лактозы в подсырной сыворотке, часто применяемой в технологии мороженого, в результате чего ее использование позволяет получить готовый продукт с содержанием лактозы не более 0,1%. В обзоре Nivetha и Mohanasrinivasan [18] описаны преимущества использования β-галактозидазы в промышленных условиях, а также указаны оптимальные условия применения для ее разновидностей. β-галактозидазу задействуют как на стадии специально вводимой операции, так и при проведении других (ферментация, ультрафильтрация). В соответствии с предыдущими исследованиями Matakt и др. [19] попытались гидролизовать до 98% лактозы в смеси для мороженого с использованием β-галактозидазы в составе двух ферментных препаратов и оценили их влияние на некоторые реологические свойства мороженого с низким содержанием лактозы. Abbasi с соавторами [20] установили влияние снижения содержания лактозы на текстуру (становится более мягкой), сладость (повышается) и кажущуюся вязкость смеси для мороженого. Использование β-галактозидазы в пищевой промышленности с целью снижения содержания лактозы положительно влияет на качество молочных продуктов, так как обеспечивает усиление ощущения сливочной и мягкой консистенции, усвояемости и сладости продукта для потребителя [18].

Способ удаления лактозы из молочного сырья ферментативным путем имеет ряд особенностей: применение ферментативного гидролиза требует определенного времени, специального оборудования, контролирующих действий: постоянный химический анализ молока и молочной продукции, контроль технологических параметров (температуры и времени ферментации) и при необходимости инактивации фермента лактазы. В исследованиях [15,16,18,21] обоснованы режимы проведения ферментативного гидролиза лактозосодержащего молочного сырья при производстве низколактозных и безлактозных продуктов. В обзоре [18] для β-галактозидазы из дрожжей указана температура гидролиза 4–6 °С и продолжительность этого процесса 16–24 ч. Авторы работы [15] проводили гидролиз при температуре 37 °С за 4 ч при концентрации фермента 0,5 г на 1 л смеси; в работе [16] использовали 0,2% фермента при 40 °С в течение 4 ч, а в исследовании [21] гидролиз был проведен за 4 ч при 37 °С и за 12 ч при 10 °С.

При производстве молочной продукции важно учитывать усиление сладкого вкуса безлактозных молочных продуктов, несмотря на то, что сладость лактозы составляет примерно 20% от сладости сахарозы. Такой эффект возникает за счет действия глюкозы и галактозы, образующихся в результате ферментативного гидролиза лактозы [22,23,24].

В настоящее время в России 57% от общего объема производимого мороженого приходится на пломбир. Предельная массовая доля СОМО в пломбире составляет 10% в связи с возможной кристаллизацией лактозы. Количество белка, вносимого в мороженое с этой массовой долей СОМО, не обеспечивает формирование прочной оболочки на жировых частицах. В связи с этим в мороженом пломбир при термомеханической обработке в процессе производства может происходить деэмульгирование жировой фазы, приводящее к возникновению порока «крупитчатость». Существует потребность в увеличении массовой доли СОМО в мороженом пломбир, однако ограничивающим фактором является повышение содержания лактозы. Нередко мороженое пломбир при использовании пищевкусовых продуктов вырабатывают с меньшей массовой долей СОМО (до 7%), в таких разновидностях продукта жировая фаза еще менее стабильна, а содержание лактозы довольно высокое.

С учетом того, что пломбир содержит наиболее высокую концентрацию лактозы по сравнению с другими видами мороженого и в связи с производственной необходимостью максимального повышения содержания СОМО, целью исследований являлось получение новых знаний о влиянии процесса гидролиза лактозы на показатели качества мороженого с массовой долей молочного жира 15% при различной массовой доле СОМО.

2. Объекты и методы

2.1. Объекты исследований

Объектами исследований служили образцы мороженого с массовой долей жира 15%, характеристика которых представлена в Таблице 1. В образцах № 2–№ 5 проводили гидролиз лактозы с применением фермента ß- галактозидаза. Массовая доля СОМО в данных образцах составляла 7%, 10%, 12% и 15% соответственно. Препарат нейтральной лактазы Maxilact Smart получен при использовании молочных дрожжей Kluyveromyces lactis (ООО «ДСМ Восточная Европа», Москва, Россия). В контрольном образце (К) гидролиз лактозы не проводился, массовая доля СОМО составляла 10%.

Для производства мороженого использовали следующие компоненты:

- глюкозный сироп Multydex 38 (ООО «КЗ Гулькевичский», Красносельский, Россия);
- сахароза (ООО «Русагро-Белгород», Белгородская область, Россия);
- стабилизатор-эмульгатор Cremodan 334 (DuPont Danisco, Москва, Россия);
- вода;
- сухое обезжиренное молоко (содержание сухих веществ 95%) (ООО «Юговский комбинат молочных продуктов», Пермь, Россия);
- масло сливочное (м. д. ж. 72,5%) (ООО «Билясувар Агро», Азербайджан).

Таблица 1. **Характеристика исследуемых образцов мороженого**

Table 1. **Characteristics of the tested ice cream samples**

Компонент	Значение показателей в образцах				
	К	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Масло сливочное, %			20,7		
СОМ*, %	10,5	7,4	10,5	12,6	15,8
Сахароза, %	14,0	15,0	14,0	12,0	9,0
Глюкозный сироп, %	—	2,0		—	
Стабилизатор, %			0,4		
Вода, %	54,4	54,5	54,4	54,3	54,1

Примечание: * СОМ — сухое обезжиренное молоко.

2.2. Производство мороженого

Технологический процесс производства мороженого включал в себя выполнение следующих последовательных этапов: смешивание компонентов при температуре 40 ± 5 °С; фильтрование смеси при температуре не ниже 60 °С; пастеризация смеси при температуре 83–85 °С с выдержкой 60 с на пастеризационной установке емкостного типа ЮВС (Россия); гомогенизация смеси при температуре 80 °С и давлении на первой ступени 9,0–11,0 МПа, на второй ступени — 3,0–5,0 МПа (гомогенизатор лабораторный APV SCHRODER GMBH, Германия); охлаждение смеси до 4 °С на установке ЮВС; созревание при температуре 4 ± 2 °С в течение 20 ч; фризерование смеси (фризер лабораторный CARPIGIANI, Италия); фасование мороженого в контейнеры из полистирола объемом 200 мл; закаливание мороженого при температуре минус 30 °С трое суток и последующее хранение при температуре минус 18 °С. Гидролиз лактозы проводили на стадии созревания смеси при температуре 4 ± 2 °С в течение 20 ч. Доза ферментного препарата составляла 0,1% с активностью 2600 lau/g.

2.3. Методы исследования

Исследование динамической вязкости смесей для мороженого проводили с использованием реовискозиметра DV2+Pro (BrookField, США) с программным обеспечением Rheocalc V3 1–1 (BrookField, США) и шпинделя SC4–31. Смесь для мороженого заливали в металлический цилиндр объемом 10 см^3, закрепляли и погружали в него шпиндель, подключали датчик температуры. Измерения вязкости образцов проводили в трех повторностях с точностью +/- 1% от используемого диапазона и воспроизводимостью не менее 0,2% при температуре смеси 4,0 ± 0,5 °С. Для достижения необходимой температуры применялась водяная баня (термостат) с погрешностью измерения температуры ± 0,5 °С.

Показатели текстуры образцов мороженого определяли на текстурометре LFRA Texture Analyzer (Brookfield, США) при помощи датчика TA28 с программным обеспечением TexturePro Lite v1.1 Bld 4 (Brookfield, США) согласно методу, описанному в работе [25].

Взбитость мороженого определяли по ГОСТ 31457–2012[1].

Для определения содержания массовой концентрации моно- и дисахаридов использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), приведенный в ГОСТ Р 54760–2011[2].

Исследование структурных элементов основано на установлении размеров воздушных пузырьков и кристаллов льда и на математическом расчете их среднего диаметра. С этой целью использовали микроскоп CX41RF (OLYMPUS, Япония) со встроенной фотокамерой и программным обеспечением ImageScope M.

Криоскопическую температуру (Ткр) определяли на осмометре-криоскопе ОСКР-1 («КИВИ осмометрия», Россия).

Органолептическую оценку исследуемых образцов проводили группой из 6 дегустаторов согласно ГОСТ ISO 6658–2016[3]. Оценивали такие показатели, как вязкость, плотность, твердость, ощущение сладости, выраженность холодного вкуса, молочный вкус (обусловленный содержанием СОМО и жира). Каждый показатель оценивали по шкале от 5,0 до 0,0 с шагом 0,5, где 5,0 — очень хорошо, 0,0 — очень плохо.

Обработку полученных результатов осуществляли в программе Past 4.03. Вычисляли среднее значение (Me) и стандартное отклонение (SD). Уровень значимости нулевой гипотезы (p) при проведении однофакторного дисперсионного анализа принимался равным 0,05. Для анализа структуры было обработано не менее 500 объектов, анализы консистенции мороженого и показателей смеси для его изготовления проводились по результатам 9 и 3 повторений соответственно.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Физико-химические показатели смеси

Было установлено значимое влияние массовой доли СОМО на динамическую вязкость смесей для мороженого (Рисунок 1). В частности, вязкости смесей с массовыми долями СОМО 15% и 7% при скорости сдвига 8 об/мин. после созревания отличались в 4,5 раза. При сравнении образцов К и № 3 было установлено значимое влияние процесса гидролиза на динамическую вязкость смеси. Изменение этого показателя при увеличении/снижении доли СОМО связано с увеличением/снижением содержания белка, обладающего влагосвязывающей способностью. Полученные данные коррелируют с результатами Alvarez и др. [26], которые установили прямо пропорциональную зависимость вязкости смеси и массовой доли белка и увеличение этого показателя в процессе созревания вследствие гидратирования белка.

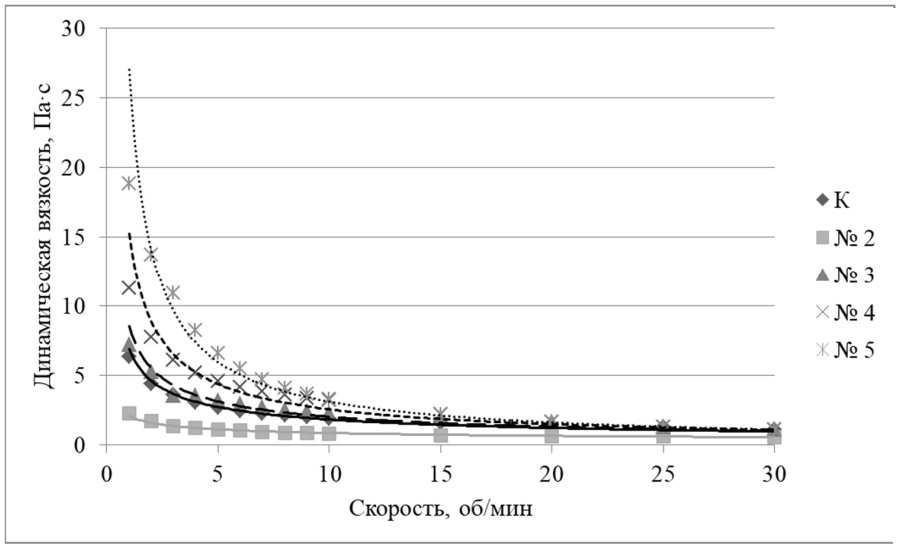
При оценке титруемой кислотности, как и следовало ожидать, было установлено, что по мере увеличения массовой доли СОМО значение этого показателя возрастало. Из представленных в Таблице 2 данных следует, что при массовой доле СОМО 7–15% диапазон титруемой кислотности составлял 14–31 °Т. Между образцами контрольным и № 3 не было установлено значимых различий по титруемой кислотности, что свидетельствует об отсутствии влияния гидролиза на данный показатель ($p > 0,05$). Повышение титруемой кислотности при увеличении массовой доли СОМО связано с увеличением содержания белка (в частности из-за присутствия кислых аминокислот, таких как аспарагин и глутамин) и минеральных соединений, оказывающих влияние на данный показатель, что коррелирует с более ранними исследованиями влияния белков на показатели качества мороженого [25,27].

Результаты определения криоскопической температуры смесей представлены в Таблице 2. Установлено значительное понижение криоскопической температуры (на 0,6–0,8 °С) при проведении процесса гидролиза и при внесении в состав смеси глюкозного сиропа, что обусловлено вдвое меньшей молекулярной массой глюкозы и галактозы. Результаты исследования Baer и Keating [28] подтверждают влияние гидролиза лактозы и сахаров с более низкой молекулярной массой на криоскопическую температуру смесей для мороженого, по сравнению с сахарозой. Значимых различий по этому

[1] ГОСТ 31457-2012 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия». – Москва: Стандартинформ, 2014. — 28 с.

[2] ГОСТ 54760-2011 «Продукты молочные составные и продукты детского питания на молочной основе. Определения массовой концентрации моно- и дисахаридов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии». – Москва: Стандартинформ, 2019. — 12 с.

[3] ГОСТ ISO 6658-2016 «Органолептический анализ. Методология. Общее руководство». – Москва.: Стандартинформ, 2016. — 28 с.



Уравнение регрессии: $y=ax^{-b}$
Коэффициенты уравнения и детерминации:
К: a=2,1; b=0,38; R^2=0,99
№ 2: a=6,9; b=0,58; R^2=0,98
№ 3: a=8,5; b=0,62; R^2=0,97
№ 4: a=15,3; b=0,77; R^2=0,98
№ 5: a=27,0; b=0,94; R^2=0,99

Рисунок 1. **Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига образцов смеси для мороженого после созревания**
Figure 1. **Dependence of the dynamic viscosity on the shear rate of the samples of mixture for ice cream after maturation**

показателю в образцах № 3–№ 5 (с массовыми долями СОМО 12 и 15%) не было установлено.

Для получения мелкодисперсной кристаллической структуры необходимо достигнуть не менее 50% вымороженной влаги на этапе фризерования. В связи с этим на основании полученных значений криоскопических температур образцов были определены температуры мороженого на выходе из фризера (Таблица 2) по формуле (1):

$$BB,\% = (1 - \frac{T_{кр}}{T_{м}}) \times 100 \quad (1),$$

где BB — вымороженная влага, %;
$T_{кр}$ — криоскопическая температура, °С;
$T_{м}$ — температура мороженого на выходе из фризера, °С.

Таблица 2. **Физические показатели исследуемых образцов при фризеровании**
Table 2. **Physical indicators of the tested samples upon freezing**

Показатель	Образец				
	К	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Температура смеси, °С	4,9	4,7	4,4	3,9	3,5
Температура мороженого, °С	-5,3	-6,5	-6,5	-6,1	-6,4
Криоскопическая температура, °С	-2,34	-3,14	-3,04a	-2,99a	-2,98a
Титруемая кислотность, °Т	20,7±0,6[a]	14,3±0,6	20,3±0,6[a]	24,7±0,6	31,3±0,6
Доля вымороженной влаги, %	55,8	51,7	53,2	51,0	53,4

Примечание: значения с одинаковой буквой в одном ряду существенных различий не имеют.

Хроматограммы образцов К и № 2, полученные методом ВЭЖХ, и данные по массовой доле сахаров в мороженом, включая лактозу, определенные указанным методом, приведены на Рисунке 2 и в Таблице 3. Хроматограммы образцов № 3–№ 5 не имеют существенных отличий от образца № 2. Содержание лактозы в контрольном образце составило 5,9%.

Таблица 3. **Количество сахаров в образцах мороженого**
Table 3. **Amounts of sugars in ice cream samples**

Образец	Количество г/100 г				
	Сахароза	Глюкоза	Галактоза	Мальтоза	Лактоза
К	13,9	–	–	–	5,9
№ 2	14,7	1,9	1,7	0,8	0,2
№ 3	14,1	2,4	2,3	–	0,3
№ 4	11,8	2,8	2,4	–	0,5
№ 5	9,0	3,6	2,7	–	1,1

По результатам исследования состава сахаров в мороженом было установлено, что по мере увеличения массовой доли СОМО повышается и количество остаточной лактозы. Из представленных образцов к категории продукции с низким содержанием лактозы можно отнести образцы № 2–№ 4.

3.2. Показатели качества мороженого

Определены технологически значимые показатели качества мороженого пломбир, на которые могли повлиять изменения качественного и количественного состава сахаров в процессе ферментации лактозы: взбитость, термоустойчивость, дисперсность структурных элементов и состояние консистенции (количественная оценка).

Данные по взбитости исследуемых образцов мороженого представлены на Рисунке 3. Было установлено, что между образцами № 3 и № 4, а также № 2 и № 5 нет значимых различий.

Увеличение содержания СОМО в продукте до 15% (образец № 5) и высокая вязкость исследуемого образца способствовали снижению способности смеси к насыщению воздухом, взбитость без принудительной подачи воздуха в этом образце не превышала 48%. Снижение содержания СОМО до 7% также привело к уменьшению способности смеси насыщаться воздухом. Это связано с уменьшением количества белка и динамической вязкости смеси, в результате чего воздушная фаза не задерживается внутри продукта. Полученные результаты взбитости мороженого при фризеровании смесей с различной вязкостью соответствуют результатам исследований, проведенных Milliatti и Lannes [29], которые сообщали о снижении способности смесей к насыщению воздухом из-за слишком высокой вязкости.

На Рисунке 4 изображена динамика термоустойчивости мороженого пломбир после гидролиза лактозы.

Как следует из данных, приведенных на Рисунке 4, все образцы мороженого характеризуются высокой термоустойчивостью. Массовая доля плава за 60 мин выдерживания не превышает 1%, что указывает на отсутствие негативного влияния гидролиза и снижения СОМО. Было установлено, что повышение содержания СОМО и проведение гидролиза повышают термоустойчивость продукта. Влияние СОМО можно объяснить формированием более прочной структуры за счет взаимодействия молекул белка и воды. Влияние гидролиза лактозы, вероятно, объясняется образованием при его проведении сахаров (глюкозы и галактозы), обладающих более высокой растворимостью по сравнению с лактозой, что приводит к повышению количества химически связанной воды, прочно удерживаемой в структуре продукта. К схожим выводам пришли Junior и Lannes [30], подчеркнув роль размера молекулы и молекулярной массы сахаров в образовании макромолекул при взаимодействии с водой. Они также сообщают, что на термоустойчивость могла повлиять криоскопическая температура, однако в данном исследовании подобная динамика не прослеживается. С результатами этих исследований можно согласиться, поскольку криоскопическая температура смесей влияет на доли вымороженной воды в мороженом при одной и той же температуре.

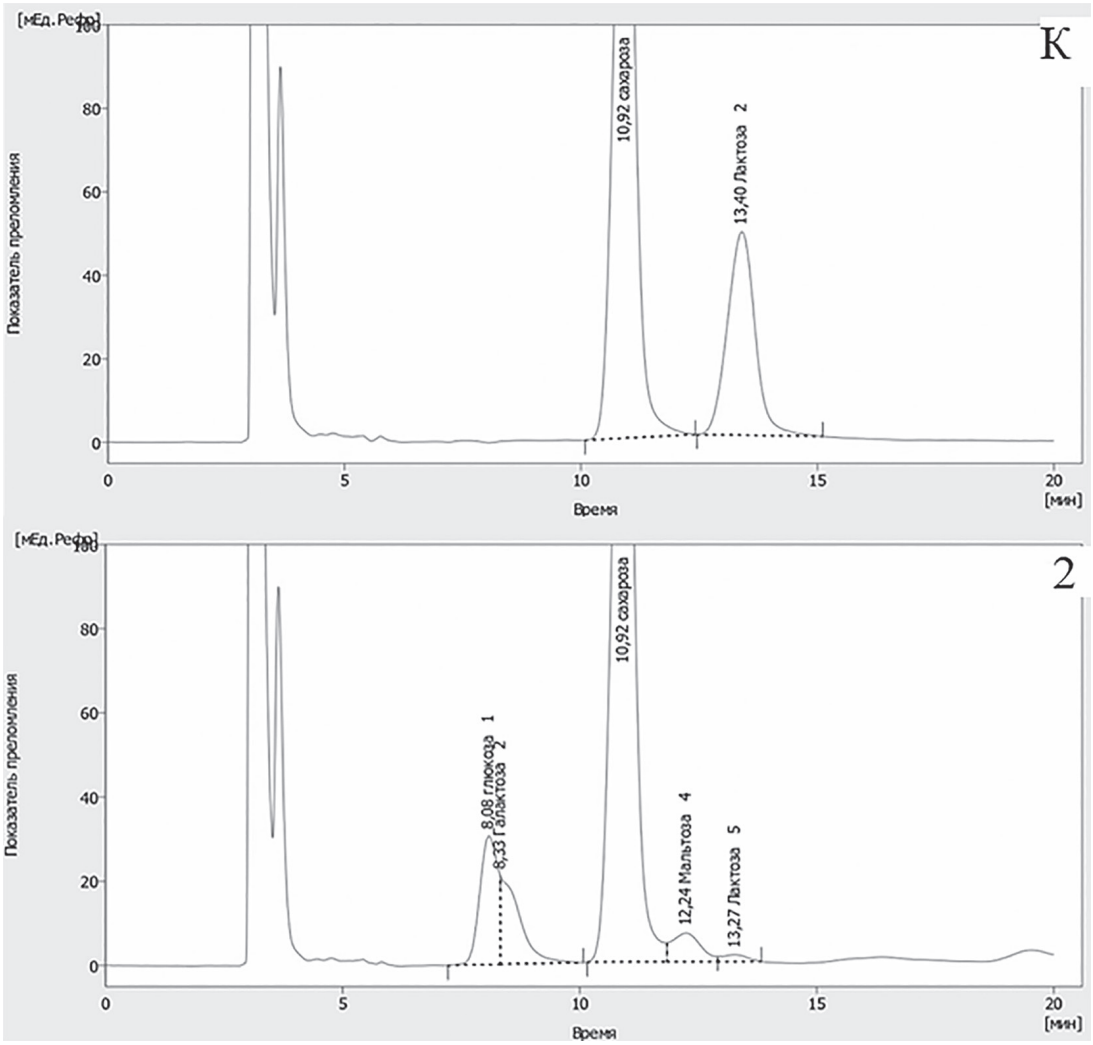


Рисунок 2. **Хроматограмма образца К и № 2**
Figure 2. **Chromatogram of the samples K and No. 2**

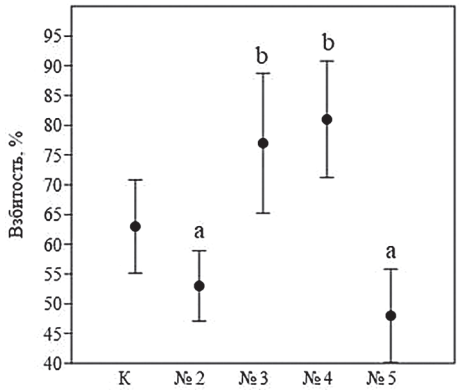


Рисунок 3. **Взбитость образцов мороженого: значения с одинаковой буквой значимо не различаются**
Figure 3. **Overrun of ice cream samples: values with the same letter are not significantly different**

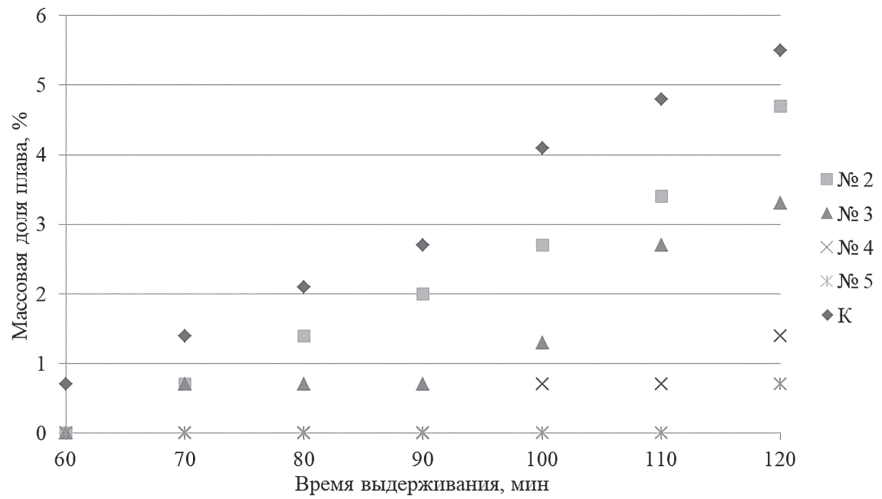


Рисунок 4. **Термоустойчивость образцов при температуре 20 °С**
Figure 4. **Melting resistance of ice cream at a temperature of 20 °C**

Исследованы микроструктурные показатели дисперсности структурных элементов мороженого (Таблица 4). Были установлены значимые различия средних размеров пузырьков воздуха между образцами, содержащими 10% и 12–15% СОМО. Также выявлено увеличение среднего размера пузырьков воздуха в образце с наименьшим содержанием (7%) СОМО. В процессе хранения в течение 3 мес. не было установлено значимых изменений в дисперсности воздушной фазы в образцах К и № 3. Через 3 мес. хранения образцы К, № 2, и № 5 имели схожие значения по этому показателю.

Определены значимые различия размеров кристаллов льда при проведении гидролиза (образцы К и № 3), что обусловлено снижением криоскопической температуры и доли вымороженной воды при одной и той же температуре выгрузки мороженого из фризера. Также выявлено значимое влияние количества СОМО на средние диаметры кристаллов льда. В процессе хранения изменений в размере кристаллов не было установлено в образцах № 3 и № 4, что может быть связано с большим содержанием связанной влаги из-за высокой массовой доли белка в составе СОМО.

Таблица 4. Размеры структурных элементов в образцах мороженого

Figure 4. **Melting resistance of ice cream at a temperature of 20 °C**

Образец	Размер пузырьков воздуха, мкм		Размер кристаллов льда, мкм	
	Me	SD	Me	SD
После закаливания				
К	32,6[a]	± 0,5	27,1[a]	± 0,3
№ 2	37,0	± 0,2	26,8[a]	± 0,4
№ 3	34,3[a]	± 2,3	28,3	± 0,1
№ 4	38,6	± 2,4	29,9	± 0,7
№ 5	36,3	± 1,7	26,5[a]	± 1,6
Через 3 мес. хранения				
К	31,0[a]	± 0,2	31,9[a]	± 0,4
№ 2	32,1[a]	± 2,6	30,4	± 0,4
№ 3	34,9	± 0,3	29,9	± 0,2
№ 4	33,6	± 0,6	30,2	± 0,9
№ 5	30,5[a]	± 1,4	30,7[a]	± 2,5

Примечание: значения с одинаковой буквой существенных различий не имеют.

Характеристики структурных элементов в мороженом во многом зависят от его состава. На дисперсность воздушной фазы в большей степени оказало влияние массовой доли белка СОМО. Высокая вязкость образцов № 4 и № 5 возможно привела к повышению среднего диаметра пузырьков воздуха в сравнении с образцом К. Больший средний диаметр воздушных пузырьков в образце № 2 в сравнении с К может быть связан с меньшей их стабильностью из-за более низкого содержания СОМО, в результате чего процесс коалесценции на этапе закаливания протекал активнее.

В процессе хранения снижение среднего размера пузырьков воздуха образцов № 2, № 4 и № 5 может быть связано с эффектом переконденсации. В образце № 2 из-за меньшей исходной вязкости смеси образовалась менее прочная структура, что привело к наибольшей скорости диффузии газа. В образцах № 4 и № 5 с большим количеством белка в составе СОМО образовались более прочные оболочки на жировых шариках. При фризеровании это привело к снижению количества деэмульгированного и агломерированного жира, необходимого для стабилизации воздушной фазы, о чем сообщалось и в работе Chang и Hartel [31].

Отсутствия значимых различий или же несущественного для продукта увеличения размеров кристаллов льда в образцах, подвергнутых ферментации, удалось достичь за счет понижения температуры выгрузки мороженого из фризера, в результате чего доля вымороженной влаги была не ниже 50% во всех образцах мороженого. О влиянии вымороженной влаги на состояние структуры рассказывалось в работе Hagiwara и Hartel [32]. Авторы подтверждают, что при большем количестве вымороженной влаги достигается более стабильная к рекристаллизации кристаллическая структура, а при закаливании количество вымороженной воды увеличивается с 50% до 80%.

В данной работе были установлены значимые различия между показателями консистенции образцов мороженого. Данные представлены в Таблице 5.

Таблица 5. **Показатели консистенции образцов мороженого**

Table 5. **Indicators of consistency of ice cream samples**

Образец	Твердость, Н		Клейкость, |мДж|		Адгезионная сила, |Н|		Жесткость, г	
	Me	SD	Me	SD	Me	SD	Me	SD
К	6,7[a]	± 1,1	1,5[a]	± 0,4	0,4[a]	± 0,1	2,5[a]	± 0,6
№ 2	3,0	± 0,7	0,8	± 0,2	0,2	± 0,1	1,3	± 0,5
№ 3	3,9	± 0,9	1,2[a]	± 0,3	0,4[a]	± 0,1	1,7	± 0,4
№ 4	6,3[a]	± 0,8	2,0[a]	± 0,1	0,5[a]	± 0,1	2,8[a]	± 0,6
№ 5	5,4[a]	± 1,5	1,7[a]	± 0,9	0,5[a]	± 0,1	2,2[a]	± 0,7

Примечание: значения с одинаковой буквой существенных различий не имеют.

Из представленной Таблицы следует, что процесс гидролиза оказывает значимое влияние на консистенцию продукта. Показатели консистенции образца № 3 в сравнении с образцом № 1 были снижены в 1,1–1,7 раза. Наибольшее влияние гидролиз лактозы оказал на показатель твердости мороженого. Изменение количества СОМО в большей степени сказалось на показателях клейкости, адгезионной силы и жесткости. Увеличение СОМО с 7 до 15% привело к возрастанию показателей консистенции в 1,7–2 раза, однако их наибольшее значение установлено в образце, содержащем по 12% СОМО и сахара. Наименьшие значения клейкости и адгезионной силы при содержании СОМО 7% связано с низким количеством белков. Из-за большого количества полярных групп сывороточные белки характеризуются высоким межфазным взаимодействием, поэтому при снижении массовой доли белка уменьшается значение показателей «клейкость» и «адгезионная сила» [33]. Наиболее мягкое мороженое было получено при проведении гидролиза в образце с низкой массовой долей СОМО (7%). Снижение значений показателей текстуры образцов № 2 и № 3 объясняется уменьшением количества белка в составе СОМО, а также высокой степенью гидролиза лактозы на сахара с более низкой молекулярной массой. Образование углеводов с более низкой молекулярной массой привело к снижению криоскопической температуры. Это способствовало уменьшению твердости, что описано в работе Goff и Hartel [34]. Увеличение значений показателей текстуры образцов № 4 и № 5 произошло за счет доминирования влияния повышенного содержания белка СОМО над влиянием образовавшихся в процессе гидролиза моносахаров. Повышение кремообразности мороженого обусловлено более высокой исходной вязкостью смеси за счет влагоудерживающего эффекта белковых молекул, что в дальнейшем сказывается на плотности и твердости мороженого. Также сообщалось, что при снижении взбитости, что свойственно образцу № 5, содержание твердых частиц в объеме продукта увеличивается, в результате чего твердость возрастает [35]. Также на твердость оказывает влияние массовая доля жира в мороженом и его дисперсность, размер кристаллов льда, зависящий от массовой доли влаги в продукте и от ее доли в вымороженном состоянии на стадии производства и хранения. Заметное влияние на показатели текстуры оказывает снижение молекулярной массы углеводов в процессе гидролиза и количество белка.

3.3. Органолептическая оценка мороженого

В процессе органолептической оценки, представленной на Рисунке 5, дегустаторами были отмечены различия в показателях мороженого с различной массовой долей СОМО. Установлено, что снижение массовой доли СОМО в мороженом пломбир и проведение гидролиза лактозы влияет на показатели «плотность», «твердость» и «кремообразность». По этим показателям отличались от контроля образцы № 2 и № 3. В образцах № 4 и № 5 наблюдалось улучшение данных показателей. Также установлено снижение значений дескрипторов «ощущение сладости» и «молочный вкус, обусловленный содержанием СОМО».

Снижение вкусовых показателей, определяющих сладость и молочный вкус, обусловлено рецептурным составом исследуемых образцов. В частности, уменьшение доли сахарозы вызвало снижение интенсивности сладкого вкуса готового продукта. Молочный вкус, формируемый количеством СОМО, зависит от содержания

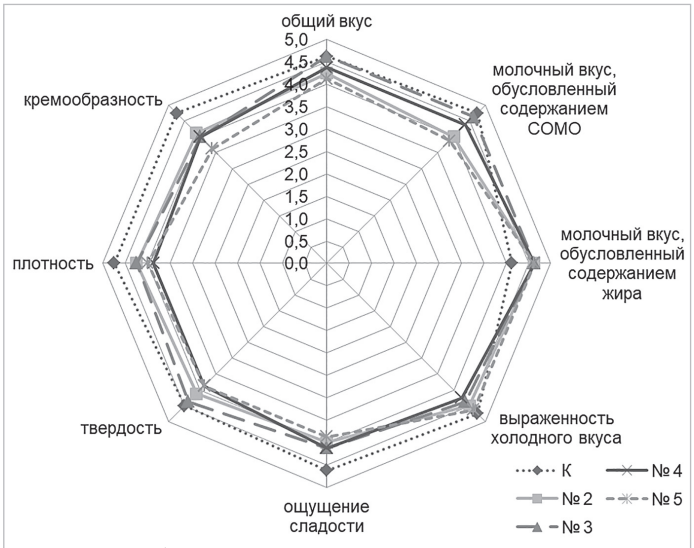


Рисунок 5. **Диаграмма органолептической оценки образцов мороженого**

Figure 5. **Diagram of the sensory evaluation of ice cream samples**

в нем белка, лактозы и минеральных солей. В связи с этим повышение СОМО до 15% привело к увеличению минеральных солей до нежелательного органолептически ощутимого их количества. Полученные результаты о влиянии СОМО на консистенцию и молочный вкус коррелируют с ранними исследованиями Koeferli и др. [36]. Это подтверждает отрицательное влияние как избытка СОМО, из-за чего снижается восприятие молочного вкуса, так и его недостатка.

4. Выводы

Проведены исследования влияния гидролиза лактозы на показатели качества мороженого с массовыми долями жира 15% и СОМО 7–15%. Установлено, что при одной и той же массовой доле ферментного препарата (0,1%) по мере повышения массовой доли СОМО в образцах смеси и мороженого происходит:

- повышение уровня остаточной лактозы с 0,2% до 1,1%;
- увеличение динамической вязкости смеси;
- понижение криоскопической температуры на 0,6–0,8 °С;
- повышение термоустойчивости;
- снижение значений показателей консистенции в 1,1–1,7 раза при массовой доле СОМО 7 и 10% и их увеличение при значении СОМО 12 и 15%;
- снижение дисперсности воздушной фазы на этапе закаливания;
- улучшение показателей текстуры и повышение ощущения сладости.

Результаты исследований имеют практическое значение при решении вопроса производства низколактозного мороженого пломбир и повышения в нем массовой доли белка за счет белка СОМО.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Alves, A.B., Santos Junior, W.F. dos., Faria, W.C.S., Nascimento, E., Lanzarin, M., Siqueira, P.B. et al. (2021). Development, characterization, and shelf-life of lactose-free artisan ice cream produced with different bases. *Research, Society and Development*, 10(9), Article e3210912712. http://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.12712
2. Szilagyi, A., Ishayek, N. (2018). Lactose Intolerance, Dairy Avoidance, and Treatment Options. *Nutrients,* 10(12), Article 1994. https://doi.org/10.3390/nu10121994
3. Batista, R.A.B., Assunção, D.C.B., de Oliveira Panaforte, F.R., Japur, C.C. (2018). Lactose in processed foods: Evaluating the availability of information regarding its amount. *Ciência & Saúde Coletiva*, 23(12), 4119–4128. https://doi.org/10.1590/1413–812320182312.21992016 (In Portuguese)
4. Dekker, P.J., Koenders, D., Bruins, M.J. (2019). Lactose-free dairy products: Market developments, production, nutrition and health benefits. *Nutrients,* 11(3), Article 551. https://doi.org/10.3390/nu11030551
5. Brown-Esters, O.N., Namara, P.M., Savaiano, D.A. (2012). Dietary and biological factors influencing. *International Dairy Journal,* 22(2), 98–103. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.09.010
6. Khrundin, D.V., Ponomarev, V. Ya, Yunusov, E. Sh. (2022). Fermented oat milk as a base for lactose-free sauce. *Foods and Raw Materials*, 10(1), 155–162. https://doi.org/10.21603/2308–4057–2022–1–155–162
7. Dominici, S., Marescotti, F., Sanmartin, C., Macaluso, M., Taglieri, I., Venturi, F., et al. (2022). Lactose: Characteristics, food and drug-related applications, and its possible substitutions in meeting the needs of people with lactose intolerance. *Foods,* 11(10), Article 1486. https://doi.org/10.3390/foods11101486
8. Mullan, M. (2023). Controlling the hardness of ice cream, gelato and similar frozen desserts. *Food Science and Technology*. https://doi.org/10.1002/fsat.3510_3.x (unpublished data)
9. Syed, Q.A., Anwar, S., Shukat, R., Zahoor, T. (2018). Effects of different ingredients on texture of ice cream. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering,* 8(6), 422–432. https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00305
10. Ademosun, A.O. (2021). Glycemic properties of soursop-based ice cream enriched with moringa leaf powder. *Foods and Raw Materials*, 9(2), 207–214. https://doi.org/10.21603/2308–4057–2021–2–207–214
11. Shafique, B., Mahmood, S., Alam, M.Q., Saeed, W. (2019). Dynamic concerns of protein ice-cream: An analysis. *Acta Scientifci Nutritional Health*, 3(11), 73–78. https://doi.org/10.31080/ASNH.2019.03.0490
12. Ibrahim, S.A., Gyawali, R., Awaisheh, S.S., Ayivi, R.D., Silva, R.C., Subedi, K. et al. (2021). Fermented foods and probiotics: An approach to lactose intolerance. *Journal of Dairy Research,* 88(3), 357–365. https://doi.org/10.1017/s0022029921000625
13. Ahmed, J.A.O., Ali H., El-Zubeir, I.E.M. (2020). The effect of lactose hydrolysis on rheological, physical and sensory characteristics of frozen yoghurt. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 9(1), 9–14.
14. Skryplonek, K., Henriques, M., Gomes, D., Viegas, J., Fonseca, C., Pereira, C. et al. (2019). Characteristics of lactose-free frozen yogurt with κ-carrageenan and corn starch as stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7838–7848. https://doi.org/10.3168/jds.2019–16556
15. Tsuchiya, A.C., da Silva, A. da G.M., Brandt, D., Kalschne, D.L., Drunkler, D.A., Colla, E. (2017). Lactose reduced ice cream enriched with whey powder. *Semina-Ciencias Agrarias,* 38(2), 749–758. http://doi.org/10.5433/1679–0359.2017v38n2p749
16. Арсеньева, Т.П., Яковлева, Ю.А., Максотова, Р.М., Оразбек, А.О. (2012). Низколактозное сливочное мороженое для диабетиков. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*, 1, Статья 11.
17. Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey, intended for ice cream production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 277–288. https://doi.org/10.24263/2304–974X-2021–10–2–6
18. Nivetha, A., Mohanasrinivasan, V. (2–3 May, 2017). Mini review on role of β-galactosidase in lactose intolerance. The 14th International Conference on Science, Engineering the Technology (14th ICSET2017), 263(2), Article 022046. https://doi.org/10.1088/1757–899x/263/2/022046
19. Matak, K.E., Wilson, J.H., Duncan, S.E., Wilson, E.J., Hackney, C.R., Sumner, S.S. (2003). The influence of lactose hydrolysis on the strength and sensory characteristics of vanilla ice cream. *Transactions of the ASABE,* 46(6), 1586–1593. https://doi.org/10.13031/2013.15621
20. Abbasi, S., Saeedabadian, A. (2015). Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. *Journal of Food Science and Technology,* 52, 367–374. https://doi.org/10.1007/s13197–013–1011–1
21. Rosolen, M.D., Gennari, A., Volpato, G., de Souza, C.F.V., (2015). Lactose hydrolysis in milk and dairy whey using microbial β-galactosidases. *Enzyme Research,* 2015, Article 806240. https://doi.org/10.1155/2015/806240
22. Adhikari, K., Dooley, L.M., Chambers IV, E., Bhumiratana, N. (2010). Sensory characteristics of commercial lactose-free milks manufactured in the United States. *LWT — Food Science and Technology,* 43(1), 113–118. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.06.017
23. de Medeiros, A.C., Filho, E.R.T, Bolini, H.M.A. (2019). Impact of natural and artificial sweeteners compounds in the sensory profile and preference drivers applied to traditional, lactose-free, and vegan frozen desserts of chocolate flavor. *Journal of Food Science*, 84(10), 2973–2982. https://doi.org/10.1111/1750–3841.14806
24. Özdemir, C., Arslaner, A., Özdemir, S., Uğurlu, G. (2018). Ice-Cream Production from Lactose-Free UHT Milk. *Journal of Food Science and Engineering,* 8, 210–214. http://doi.org/10.17265/2159–5828/2018.05.003
25. Гурский, И.А., Творогова, А.А. (2022). Влияние концентратов сывороточных белков на технологические и органолептические показатели качества мороженого. *Техника и технология пищевых производств*, 52(3), 439–448. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2022–3–2376
26. Alvárez, V.B., Wolters, C.L., Vodovotz, Y., Ji, T. (2005). Physical properties of ice cream containing milk protein concentrates. *Journal of Dairy Science,* 88(3), 862–871. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(05)72752–1
27. Tvorogova, A.A., Gurskiy, I.A., Shobanova, T.V., Smykov, I.T. (2023). Effect of protein concentrates and isolates on the rheological, structural, thermal and sensory properties of ice cream. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 11(1), 294–306. http://doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.1.22
28. Baer, R.J., Keating, K.R. (1987). Determination of ice cream mix freezing points: A comparison of methods. *Journal of Dairy Science,* 70(3), 555–558. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(87)80040–1
29. Milliatti, M.C., Lannes, S.C. da S. (2018). Impact of stabilizers on the rheological properties of ice creams. *Food Science and Technology*, 38(4), 733–739. https://doi.org/10.1590/fst.31818
30. Junior, E.D., Lannes, S.C. (2011). Effect of different sweetener blends and fat types on ice cream properties. *Food Science and Technology International,* 31(1), 217–220. https://doi.org/10.1590/S0101–20612011000100033
31. Chang, Y., Hartel, R.W. (2002). Stability of air cells in ice cream during hardening and storage. *Journal of Food Engineering,* 55(1), 59–70. https://doi.org/10.1016/S0260–8774(01)00242–4
32. Hagiwara, T., Hartel, R.W. (1996). Effect of sweetener, stabilizer, and storage temperature on ice recrystallization in ice cream. *Journal of Dairy Science,* 79(5), 735–744. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(96)76420–2
33. Guo, M., Wang, G. (2016). Whey protein polymerisation and its applications in environmentally safe adhesives. *International Journal of Dairy Technology*, 69(4), 481–488. http://doi.org/10.1111/1471–0307.12303
34. Goff, H.D., Hartel, R.W. (2013). Ice Cream. Boston, MA: Springer, 2013.
35. Roy, S., Hussain, S.A., Prasad, W.G., Khetra, Y. (2021). Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. *Applied Food Research*, 2(1), Article 100029. https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029
36. Koeferli, C.R.S., Piccinali, P., Sigrist, S. (1996). The influence of fat, sugar and non-fat milk solids on selected taste, flavor and texture parameters of a vanilla ice-cream. *Food Quality and Preference*, 7(2), 69–79. https://doi.org/10.1016/0950–3293(95)00038–0

REFERENCES

1. Alves, A.B., Santos Junior, W.F. dos., Faria, W.C.S., Nascimento, E., Lanzarin, M., Siqueira, P.B. et al. (2021). Development, characterization, and shelf-life of lactose-free artisan ice cream produced with different bases. *Research, Society and Development*, 10(9), Article e3210912712. http://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.12712
2. Szilagyi, A., Ishayek, N. (2018). Lactose Intolerance, Dairy Avoidance, and Treatment Options. *Nutrients,* 10(12), Article 1994. https://doi.org/10.3390/nu10121994
3. Batista, R.A.B., Assunção, D.C.B., de Oliveira Penaforte, F.R., Japur, C.C. (2018). Lactose in processed foods: Evaluating the availability of information regarding its amount. *Ciência & Saúde Coletiva*, 23(12), 4119–4128. https://doi.org/10.1590/1413–812320182312.21992016 (In Portuguese)
4. Dekker, P.J., Koenders, D., Bruins, M.J. (2019). Lactose-free dairy products: Market developments, production, nutrition and health benefits. *Nutrients,* 11(3), Article 551. https://doi.org/10.3390/nu11030551

5. Brown-Esters, O.N., Namara, P.M., Savaiano, D.A. (2012). Dietary and biological factors influencing. *International Dairy Journal,* 22(2), 98–103. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.09.010
6. Khrundin, D.V., Ponomarev, V. Ya, Yunusov, E. Sh. (2022). Fermented oat milk as a base for lactose-free sauce. *Foods and Raw Materials*, 10(1), 155–162. https://doi.org/10.21603/2308–4057–2022–1–155–162
7. Dominici, S., Marescotti, F., Sanmartin, C., Macaluso, M., Taglieri, I., Venturi, F., et al. (2022). Lactose: Characteristics, food and drug-related applications, and its possible substitutions in meeting the needs of people with lactose intolerance. *Foods,* 11(10), Article 1486. https://doi.org/10.3390/foods11101486
8. Mullan, M. (2023). Controlling the hardness of ice cream, gelato and similar frozen desserts. *Food Science and Technology*. https://doi.org/10.1002/fsat.3510_3.x (unpublished data)
9. Syed, Q.A., Anwar, S., Shukat, R., Zahoor, T. (2018). Effects of different ingredients on texture of ice cream. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering,* 8(6), 422–432. https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00305
10. Ademosun, A.O. (2021). Glycemic properties of soursop-based ice cream enriched with moringa leaf powder. *Foods and Raw Materials*, 9(2), 207–214. https://doi.org/10.21603/2308–4057–2021–2–207–214
11. Shafique, B., Mahmood, S., Alam, M.Q., Saeed, W. (2019). Dynamic concerns of protein ice-cream: An analysis. *Acta Scientifci Nutritional Health*, 3(11), 73–78. https://doi.org/10.31080/ASNH.2019.03.0490
12. Ibrahim, S.A., Gyawali, R., Awaisheh, S.S., Ayivi, R.D., Silva, R.C., Subedi, K. et al. (2021). Fermented foods and probiotics: An approach to lactose intolerance. *Journal of Dairy Research,* 88(3), 357–365. https://doi.org/10.1017/s0022029921000625
13. Ahmed, J.A.O., Ali H., El-Zubeir, I.E.M. (2020). The effect of lactose hydrolysis on rheological, physical and sensory characteristics of frozen yoghurt. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 9(1), 9–14.
14. Skryplonek, K., Henriques, M., Gomes, D., Viegas, J., Fonseca, C., Pereira, C. et al. (2019). Characteristics of lactose-free frozen yogurt with κ-carrageenan and corn starch as stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7838–7848. https://doi.org/10.3168/jds.2019–16556
15. Tsuchiya, A.C., da Silva, A. da G.M., Brandt, D., Kalschne, D.L., Drunkler, D.A., Colla, E. (2017). Lactose reduced ice cream enriched with whey powder. *Semina-Ciencias Agrarias,* 38(2), 749–758. http://doi.org/10.5433/1679–0359.2017v38n2p749
16. Arsenjeva, T.P., Yakovleva, Y.A., Maksotova, R.M., Orazbek A. O. (2012). Low lactose level creamy ice-cream for diabetics. *Processes and Food Production Equipment,* 1, Article 11. (In Russian)
17. Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey, intended for ice cream production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 277–288. https://doi.org/10.24263/2304–974X-2021–10–2–6
18. Nivetha, A., Mohanasrinivasan, V. (2–3 May, 2017). Mini review on role of β-galactosidase in lactose intolerance. The 14th International Conference on Science, Engineering the Technology (14th ICSET2017), 263(2), Article 022046. https://doi.org/10.1088/1757–899x/263/2/022046
19. Matak, K.E., Wilson, J.H., Duncan, S.E., Wilson, E.J., Hackney, C.R., Sumner, S.S. (2003). The influence of lactose hydrolysis on the strength and sensory characteristics of vanilla ice cream. *Transactions of the ASABE,* 46(6), 1586–1593. https://doi.org/10.13031/2013.15621
20. Abbasi, S., Saeedabadian, A. (2015). Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. *Journal of Food Science and Technology,* 52, 367–374. https://doi.org/10.1007/s13197–013–1011–1
21. Rosolen, M.D., Gennari, A., Volpato, G., de Souza, C.F.V., (2015). Lactose hydrolysis in milk and dairy whey using microbial β-galactosidases. *Enzyme Research,* 2015, Article 806240. https://doi.org/10.1155/2015/806240
22. Adhikari, K., Dooley, L.M., Chambers IV, E., Bhumiratana, N. (2010). Sensory characteristics of commercial lactose-free milks manufactured in the United States. *LWT — Food Science and Technology,* 43(1), 113–118. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.06.017
23. de Medeiros, A.C., Filho, E.R.T, Bolini, H.M.A. (2019). Impact of natural and artificial sweeteners compounds in the sensory profile and preference drivers applied to traditional, lactose-free, and vegan frozen desserts of chocolate flavor. *Journal of Food Science*, 84(10), 2973–2982. https://doi.org/10.1111/1750–3841.14806
24. Özdemir, C., Arslaner, A., Özdemir, S., Uğurlu, G. (2018). Ice-Cream Production from Lactose-Free UHT Milk. *Journal of Food Science and Engineering,* 8, 210–214. http://doi.org/10.17265/2159–5828/2018.05.003
25. Gurskiy, I.A., Tvorogova, A.A. (2022). The effect of whey protein concentrates on technological and sensory quality indicators of ice cream. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(3), 439–448. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2022–3–2376 (In Russian)
26. Alvárez, V.B., Wolters, C.L., Vodovotz, Y., Ji, T. (2005). Physical properties of ice cream containing milk protein concentrates. *Journal of Dairy Science,* 88(3), 862–871. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(05)72752–1
27. Tvorogova, A.A., Gurskiy, I.A., Shobanova, T.V., Smykov, I.T. (2023). Effect of protein concentrates and isolates on the rheological, structural, thermal and sensory properties of ice cream. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 11(1), 294–306. http://doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.1.22
28. Baer, R.J., Keating, K.R. (1987). Determination of ice cream mix freezing points: A comparison of methods. *Journal of Dairy Science,* 70, 555–558. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(87)80040–1
29. Milliatti, M.C., Lannes, S.C. da S. (2018). Impact of stabilizers on the rheological properties of ice creams. *Food Science and Technology*, 38(4), 733–739. https://doi.org/10.1590/fst.31818
30. Junior, E.D., Lannes, S.C. (2011). Effect of different sweetener blends and fat types on ice cream properties. *Food Science and Technology International,* 31(1), 217–220. https://doi.org/10.1590/S0101–20612011000100033
31. Chang, Y., Hartel, R.W. (2002). Stability of air cells in ice cream during hardening and storage. *Journal of Food Engineering,* 55(1), 59–70. https://doi.org/10.1016/S0260–8774(01)00242–4
32. Hagiwara, T., Hartel, R.W. (1996). Effect of sweetener, stabilizer, and storage temperature on ice recrystallization in ice cream. *Journal of Dairy Science,* 79(5), 735–744. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(96)76420–2
33. Guo, M., Wang, G. (2016). Whey protein polymerisation and its applications in environmentally safe adhesives. *International Journal of Dairy Technology*, 69(4), 481–488. http://doi.org/10.1111/1471–0307.12303
34. Goff, H.D., Hartel, R.W. (2013). Ice Cream. Boston, MA: Springer. 2013.
35. Roy, S., Hussain, S.A., Prasad, W.G., Khetra, Y. (2021). Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. *Applied Food Research*, 2(1), Article 100029. https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029
36. Koeferli, C.R.S., Piccinali, P., Sigrist, S. (1996). The influence of fat, sugar and non-fat milk solids on selected taste, flavor and texture parameters of a vanilla ice-cream. *Food Quality and Preference,* 7(2), 69–79. https://doi.org/10.1016/0950–3293(95)00038–0

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Творогова Антонина Анатольевна — доктор технических наук, главный научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7–495–610–83–85. E-mail: antvorogova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–7293–9162	**Antonina A. Tvorogova**, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Ice Cream Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyakova Str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7–495–610–83–85 E-mail: antvorogova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–7293–9162
Шобанова Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7–495–610–83–85 E-mail: t.shobanova@yandex.ru ORCID: http://orcid.org/0000–0001–6764–5020	**Tatyana V. Shobanova**, Candidate of Technical Sciences, Researcher, Laboratory of Ice Cream Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyakova Str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7–495–610–83–85 E-mail: t.shobanova@yandex.ru ORCID: http://orcid.org/0000–0001–6764–5020
Гурский Игорь Алексеевич — младший научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7 (495) 610–83–85. E-mail: iixrug@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–8177–3472 * автор для контактов	**Igor A. Gurskiy**, Junior Researcher, Laboratory of Ice Cream Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyakova Str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7–495–610–83–85 E-mail: iixrug@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–8177–3472 * corresponding author
Казакова Наталия Владимировна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7–495–610–83–85. E-mail: nkazak.53@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–2963–6294	**Natalia V. Kazakova**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Ice Cream Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyakova Str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7–495–610–83–85 E-mail: nkazak.53@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–2963–6294

Критерии авторства	Contribution
А. А. Творогова — постановка, научное руководство и анализ результатов исследований.	**A. A. Tvorogova** — formulation, scientific guidance and analysis of the research results.
Т. В. Шобанова, И. А. Гурский — обзор литературы, проведение и обработка результатов экспериментальных исследований.	**T. V. Shobanova, I. A., Gurskiy** — a review of the scientific literature, conducting and processing of the experimental studies and results.
Н. В. Казакова — обоснование и проверка применимости процесса ферментации лактозы в производственных условиях.	**N. V. Kazakova** — substantiation and verification of the applicability of the lactose fermentation process in industrial conditions.

Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-317-328

Поступила 20.03.2023
Поступила после рецензирования 06.08.2023
Принята в печать 14.08.2023
© Колпакова В. В., Фан К. Ч., Гайворонская И. С., Чумикина Л. В., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

СВОЙСТВА И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БЕЛКОВ НАТИВНЫХ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ БЕЛОГО И КОРИЧНЕВОГО РИСА

Колпакова В. В.[1],* Фан К. Ч.[2], Гайворонская И. С.[1], Чумикина Л. В.[3]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья — филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха, Красково, Московская область, Россия

[2] Фу Йен университет, Фу Йен провинция, Вьетнам

[3] Институт биохимии им. А. Н. Баха, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии», Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
протеолиз, флавоноиды, молекулярные массы, вторичная структура, дисульфидные связи, агрегация, функциональные свойства, корреляция

АННОТАЦИЯ

Описаны физико-химические свойства и структурные особенности белков концентратов (БК) из белого и коричневого риса. Установлены отличия в степени протеолиза и взаимосвязь функционально-технологических свойств белков с их структурой. Белки из белого риса имели более низкие молекулярные массы (ММ), чем белки из коричневого риса: 1,3–199,5 кДа против 1,5–251,1 кДа. У БК из белого риса большая часть белков сосредоточена в 3 низкомолекулярных фракциях (ММ 11,7–27,5 кДа), тогда как у БК из коричневого риса — в одной с высокой ММ (182–251,1 кДа). В процессе гидролиза ММ белков (ВМ) БК из белого риса понижались с 199,5 до 120,2 кДа с образованием пептидов с ММ < 1,3 кДа, тогда как при гидролизе белков БК из коричневого риса ММ не изменялись. В составе БК из белого риса флавоноиды взаимодействовали с фракциями белков с ММ 131, 10 и 4,0 кДа, а в БК из коричневого риса — только с одной фракцией с ММ 216 кДа. Количество флавоноидов в БК из белого риса в 2,3 раза меньше, чем в БК из коричневого риса. Для БК установлены элементы вторичной структуры белков: α — спираль, 3_{10} — спираль, β–структура, β–изгибы и неупорядоченная форма. Протеолиз белков сопровождался уменьшением α-спиралей, увеличением β-структуры и нерегулярных участков, ослаблением гидрофобных свойств белков и повышением количества S–S связей: БК из коричневого риса характеризовались большим содержанием $–CH_2$ групп семейства флавоноидов, а также более высокой степенью ненасыщенности групп бензольных ядер, кетонных и сложноэфирных группировок. Выявлена отрицательная корреляция между пенообразующей способностью БК и верхними границами значений ММ (r = — 0,95), количеством ВМ белков (r = — 0,80) и константами агрегации (r = — 0,8 и — 1,0) и положительная корреляция (r = + 0,8) — с количеством S–S связей. Высокая пенообразующая способность взаимосвязана с белками с ММ не более 120 кДа. Результаты предназначены для регулирования функциональных свойств белковых продуктов на основе особенностей физико-химических свойств нативных и модифицированных белков.

Received 20.03.2023
Accepted in revised 06.08.2023
Accepted for publication 14.08.2023
© Kolpakova V. V., Fan Q. Ch., Gaivoronskaya I. S., Chumikina L. V., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

PROPERTIES AND STRUCTURAL FEATURES OF NATIVE AND MODIFIED PROTEINS OF CONCENTRATES FROM WHITE AND BROWN RICE

Valentina V. Kolpakova[1],* Quynh Ch. Fan[2], Irina S. Gaivoronskaya [1], Ludmila V. Chumikina[3]

[1] All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing — Branch of Russian Potato Research Centre, Kraskovo, Moscow region, Russia

[2] Phu Yen University, Phu Yen province, Vietnam

[3] A. N. Bach Institute of Biochemistry, Federal Research Center «Fundamental Foundations of Biotechnology», of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

KEY WORDS:
proteolysis, flavonoids, molecular weights, secondary structure, disulfide bonds, aggregation, functional properties, correlation

ABSTRACT

The physicochemical properties and structural features of proteins of concentrates (PC) from white and brown rice are described. Differences in a degree of proteolysis and the relationship between the functional and technological properties of proteins and their structure were established. Proteins from white rice had lower molecular weights (MW) than proteins from brown rice: 1.3–199.5 kDa versus 1.5–251.1 kDa. Most proteins were grouped in three low-molecular-weight fractions (MW 11.7–27.5 kDa) in PC from white rice and in one fraction with the high molecular weight (182–251.1 kDa) in PC from brown rice. In the process of hydrolysis, the MW of proteins (high-molecular-weight) of PC from white rice decreased from 199.5 to 120.2 kDa with generation of peptides with a molecular weight of <1.3 kDa, while the MW remained unchanged upon hydrolysis of proteins of PC from brown rice. In the composition of PC from white rice, flavonoids interacted with protein fractions with molecular weights of 131, 10, and 4.0 kDa; while in PC from brown rice, they interacted with only one fraction with a molecular weight of 216 kDa. The quantity of flavonoids in PC from white rice was 2.3 times less than that in PC from brown rice. Elements of protein secondary structure were established for PC: α–helix, 3_{10} — helix, β-structure, β-bends, and irregular shape. Proteolysis of proteins was accompanied by a decrease in the number of α-helices, increase in the proportion of β-structures and irregular regions, weakening of the hydrophobic properties of proteins and an increase in the number of S–S bonds; PC from brown rice was characterized by a higher content of $–CH_2$ groups from the flavonoid family, as well as by a higher degree of unsaturation of groups of benzene nuclei, ketone and ester groups. A negative correlation was found between the foaming ability of PC and the upper boundaries of molecular weights (r = — 0.95), quantity of high-molecular-

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Колпакова, В. В., Фан, Ч. К., Гайворонская, И. С., Чумикина, Л. В.** (2023). Свойства и структурные особенности белков нативных и модифицированных концентратов из белого и коричневого риса. *Пищевые системы*, 6(3), 317-328. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-317-328

FOR CITATION: **Kolpakova, V. V., Fan, Q. Ch., Gaivoronskaya, I. S., Chumikina, L. V.** (2023). Properties and structural features of native and modified proteins of concentrates from white and brown rice. *Food Systems*, 6(3), 317-328. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-317-328

weight proteins (r = — 0.80) and aggregation constants, and a positive correlation (r = + 0.8) with the number of S–S bonds. The high foaming ability is interrelated with proteins with a molecular weight of no more than 120 kDa. The results are intended to regulate the functional properties of protein products based on the characteristics of the physicochemical properties of native and modified proteins.

1. Введение

Рис *(Oriza sativa* L*),* занимающий в мировом объеме выращивания зерновых культур второе место после пшеницы, является важнейшим сырьевым источником для производства продуктов питания как в Азии, так и на других континентах [1,2,3,4]. В Европе и России рис пользуется большой популярностью, несмотря на низкое содержание в нем белка (6–8%). Данную культуру употребляют в виде крупы, ее перерабатывают в муку, используют для изготовления кондитерских изделий, применяют в производстве хлеба и лапши как источник белков, микроэлементов, витаминов, минеральных веществ, крахмала [5,1,6,7,8,9]. Содержание белка и его состав считаются очень важными факторами, влияющими на технологические и кулинарные характеристики риса [5]. Для прогнозирования фракционного состава белков (проламин, глобулин, глютелин) рисовой муки предложен метод спектроскопии в ближней инфракрасной области спектра, что важно для разработки безглютеновых изделий. Дополнительное повышение содержания в муке из коричневого риса белка, золы, клетчатки, растворимых волокон, минералов, фенольных соединений, антиоксидантов, крахмала, рибофлавина, пиридоксина, никотиновой кислоты, γ-токотриенола, δ-токотриенола достигалось ферментацией ее дрожжами [1]. Тесто с 40% такой муки имело мягкую консистенцию, большую способность удерживать пузырьки воздуха, более высокий удельный объем, лучшую текстуру. С использованием рисовой муки разработана технология маффина, обогащенного калием, фосфором, кальцием [6]. Изучение фракционного состава крахмала непропаренного риса из Нигерии показало, что в нем содержался резистентный крахмал (1,43–3,13%), а поскольку индекс переваривания всего крахмала коррелировал с быстроусвояемой фракцией (r = 0,879), дальнейшей задачей обозначен поиск сортов с менее быстрым ее перевариванием [7].

Для большого набора показателей качества риса идентифицированы/клонированы гены/локусы количественных признаков и разработаны маркеры для облегчения отбора зерна в целях его эффективного применения потребителями и селекционерами для обеспечения урожайности, устойчивости к абиотическим и биотическим стрессам [8]. Авторами источника [9] уделено большое внимание влиянию риса как пищевого продукта на состояние здоровья, а также анализу его качества с точки зрения кулинарии и органолептических свойств, включая аромат изделий из риса.

Рисовые белки готовых пищевых продуктов, как и коммерческих белковых концентратов и изолятов, по биологической ценности занимают одно из ведущих мест среди белков зерновых культур [10,11,12], что делает рисовую муку полезной для питания не только взрослых людей, но и детей. Основная масса белков риса представлена щелочерастворимой глютелиновой фракцией (80–93% от общего содержания) [13], и, в отличие от белков пшеницы, в них содержится мало спирторастворимых проламинов (2,5–3,5%). В связи с этим целесообразно применение рисовых продуктов, включая коммерческие препараты из зерна или отрубей, в гипоаллергенной диете для пациентов с различными заболеваниями [14]. Особенно ценным является зерно коричневого (бурого) риса: в отличие от белого, оно проходит минимальную обработку, включая процесс шлифования, поэтому имеет коричневый цвет и специфический аромат. Из-за незначительного удаления плодовых и семенных оболочек такой рис содержит больше клетчатки, минеральных веществ, витаминов, красящих соединений, рассматриваемых как антиоксидантные ингредиенты, оказывающие благоприятное действие на здоровье людей. Регулярное потребление таких биологически активных веществ с противовоспалительной активностью, способностью снижать холестерин и обеспечивать профилактику сердечно-сосудистых заболеваний уменьшает риск возникновения болезней сердца, диабета, ожирения, повышения артериального давления. Недавние исследования [15,16] показали, что рисовый белок проявляет и противораковую функцию. В ряде работ [17,18] показано, что антиоксидантный потенциал зерна злаковых культур хорошо коррелирует с содержанием полифенолов, поэтому со стороны исследователей сегодня наблюдается повышенный интерес к данным видам соединений [17,18,19,20,21,22]. Красновато-коричневые пигменты зерновок риса по химическому составу представляют смесь фенольных соединений и флавоноидов, среди которых обнаружены трицин, лютеолин, апигенин, кверцетин, изорамнетин, мирицетин [17], смесь сложных эфиров дигалловой кислоты с глюкозой (пентадигаллоилглюкозы), катехол-танины, катехины. В пурпурных зерновках риса пигментами являлись также антоцианидины и антоцианины, образующиеся из флавоновых и флавонольных соединений. Для рисовых отрубей, например, установлено, что антиоксидантная активность белковых фракций зависит от содержания в них фитатов (данный показатель выше в альбуминах и ниже в проламинах) [17].

Анализ основных компонентов выполнен для непигментированного, красного и черного риса фракции [18]. В непигментированном рисе не было обнаружено конъюгированных протокатеховых и 2,5-дигидроксибензойных кислот, которые присутствовали в черном и красном рисе соответственно. Основными связанными фенольными кислотами являлись феруловая, п-кумаровая, а также 2,5-дигидроксибензойная кислота в красном рисе и протокатеховая и ванилиновая кислоты в черном рисе. Протокатеховая, ванилиновая, сиреневая и феруловая кислоты связаны с флавоноидами и антиоксидантной активностью в растворимой конъюгированной фракции, в то время как протокатеховая и феруловая кислоты коррелировали с активностью нерастворимой связанной фракции [18]. Имеющие пользу для здоровья флавоноиды (трицин, лютеолин, апигенин, кверцетин, изорамнетин, кемпферол, мирицетин) выявлены у риса и авторами работы [19]. Флавоноиды проявляли активность по удалению радикалов, взаимодействию с клеточной мембраной, белком, ингибированию пролиферации клеток, агрегации тромбоцитов, окислению холестерина, активации клеток-киллеров, макрофагов и по ингибированию ангиогенеза.

Исследование профилей соединений рисовых отрубей из шести образцов цветного риса жидкостной хроматографией с фотодиодной матрицей и тандемной масс-спектрометрией с ионизацией электрораспылением показало, что проантоцианидины обнаружены только в отрубях красного риса, но не в отрубях черного риса. Большая часть фенолокислот (83–97%) в окрашенных рисовых отрубях находилась в связанной форме. В связанной фракции красных рисовых отрубей впервые идентифицирован протокатехуальдегид. Антиоксидантная активность несвязанной фракции окрашенных рисовых отрубей обуславливалась проантоцианидинами в красном рисе и антоцианами в черном рисе, в то время как активность связанной фракции — фенольными кислотами [20]. Основными антоцианами в отрубях из фиолетового риса были цианидин-3-глюкозид и пеонидин-3-глюкозид [21]. Пурпурные отруби, в которых накапливались как антоцианы, так и проантоцианидины, содержали больше всего фенолов, флавоноидов и сильнее поглощали радикалы кислорода; за ними следовали красные, коричневые, светло-коричневые и белые отруби. Сделан вывод о том, что с помощью селекции можно вывести новые сорта риса с различным типом и количеством фенольных соединений.

Для приготовления рисовых продуктов с улучшенными питательными свойствами исследованы процессы прорастания коричневого зерна разных сортов [22]. Прорастание влияло на физико-химический и белковый профиль, на пастообразующие свойства и на количество фенольных соединений. Стабильность пены и водопоглотительная способность муки из проросшего зерна были выше по сравнению с мукой из непроросшего зерна. Количество γ-аминомасляной кислоты, гистидина, аргинина, пролина и метионина увеличивалось при прорастании. Феруловая кислота, п-кумаровая кислота и кверцетин присутствовали в обоих видах риса в связанной форме. Проросшее зерно было более качественным для питания, поэтому выявлен сорт риса PB1121 для проращивания из-за больших изменений в содержании белка, незаменимых аминокислот, катехина, хлорогеновой кислоты, протокатеховой, ванилиновой кислот, а также ввиду изменения стабильности пены, необходимой для разрабатываемых качественных рисовых продуктов [22].

Если данные в литературе о влиянии различного типа соединений на здоровье людей уже имеются, то взаимосвязь между содержанием веществ, проявляющих, например, антиоксидантную активность в белковых коммерческих препаратах и их функционально-технологическими свойствами, остается не исследованной. Химическое взаимодействие фенольных и флавоноидных соединений с белками, вероятно, будет оказывать влияние и на структуру, и на физико-химические свойства последних. В целом, данных о зависимости функционально-технологических и пищевых свойств от

особенностей структуры и физико-химических показателей белков в составе препаратов, полученных из различных видов зерновых культур, включая зерно риса, относительно немного [22,23,24,25], поэтому проблема отсутствия таких исследований сегодня довольно актуальная. Такие сведения необходимы для разработки эффективных способов выделения, модификации и регулирования химического состава и функционально-технологических свойств белковых препаратов (растворимость, образование пены, связывание, эмульгирование жира, денатурация и т. д.), характеризующих поведение белков в пищевых системах при производстве продуктов питания. Биохимические и физико-химические характеристики белков рисовых препаратов целесообразно изучать с помощью современных аналитических методов зерновой химии, среди которых преобладают электрофорез, флуоресцентная спектроскопия, хроматография, агрегация и спектроскопия кругового дихроизма. Данные методы ранее использовались преимущественно для целого зерна или полученной из него муки [26,27,28,29].

Целью данной работы является сравнительная характеристика свойств, структурных особенностей белков и функционально-технологических показателей нативных и модифицированных ограниченным ферментативным протеолизом концентратов из белого и коричневого риса.

2. Объекты и методы

В качестве объектов исследования использовали муку, полученную из зерна белого и коричневого риса от компаний «Гао Там» и «Тхай Зыонг» (Вьетнам) соответственно с проходом через сито № 43 ПА-70 (ООО «Зернотехника», Россия) и с выходом 68%, а также белковые концентраты (БК) с массовой долей белка 84,1 ± 1,12% и 79,0 ± 0,07% соответственно. БК получали экстракцией из муки при оптимальных параметрах [30]. Муку обрабатывали комплексным ферментным препаратом (ФП) «Фунгамил Супер АХ» (Novozymes, Дания), содержащим ксиланазу и амилазу. Концентрация ФП составила 70 ед. ГКА/г муки, время экстрагирования белков — 20 мин, гидромодуль — 1:6, pH — 4,8, температура — 70 °С. Дисперсию центрифугировали, к осадку добавляли 0,01 н HCl при гидромодуле 1: 9 и времени экстрагирования 135 мин, затем вновь центрифугировали. Белковые супернатанты от двух стадий объединяли, белки осаждали 0,01н раствором NaOH, осадок промывали дистиллированной водой, лиофильно высушивали (Hochvacuum HVD TG-50, Veb Hochvakuum Dresden, Германия) и получали негидролизованные БК (нативные). Для получения гидролизованных белковых концентратов (ГБК) навеску БК смешивали с водным раствором эндопротеазного ФП Protamex® (Novozymes, Дания) при концентрации субстрата 25%, при температуре 50 ± 1 °С, pH 5,5 ± 0,1, при концентрации ФП 1,0 Е/г и продолжительности гидролиза 150 ± 2 мин. Степень протеолиза белков, определенная по методике, изложенной в работе [24], для обоих видов риса составляла 3,95 ± 0,5%. Образцы высушивали лиофильным способом на установке ContinuousFreezeDryer (New Brunswick Scientific Co., INC, США) до влажности 5,0 ± 1,0%. Массовая доля белка в ГБК из белого риса составляла 84,10 ± 1,20%, из коричневого риса — 79,00 ± 0,60%. Содержание белка определяли по методу Къельдаля (N x 6,25).

Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). Для определения молекулярно-весового распределения белков БК и ГБК методом ВЭЖХ [31] использовали хроматограф «Стайер-SYSTEM» (Аквилон, Россия) с системой внесения образцов Rheodyne 7725i (Rheodyne, США) и детектором UVV104 с колонкой BioSep-SEC-S2000 (Phenomenex, США) размером 300 x 7,8 мм. Подвижной фазой, скорость потока которой составляла 1 см³/мин, служил 0,05М K-Na фосфатный буфер, pH 7,4, содержащий 0,2 М NaCl. Поглощение света детектировали при 214 нм. Колонку калибровали с белками-маркерами LMW ColibrationKit (фирмы Phenomenex, США): бычьим сывороточным альбумином (67 кДа), овальбумином (43 кДа), химотрипсиногеном (25 кДа), рибонуклеазой (13,7 кДа), бацитрацином (1,45 кДа).

Гель-фильтрация белков на сефадексе G-150. Гель-фильтрацию белков выполняли на сефадексе G-150 в колонке размером 81 × 3,5 см, которую калибровали с синим декстраном (ММ 2 млн Да) и триптофаном (ММ 204 Да). На колонку наносили около 50 мг белка БК и ГБК в 10 см³ растворителя УМЦ, содержащего 0,1 моль/дм³ уксусной кислоты, 3,0 моль/дм³ мочевины и 0,01 моль/дм³ цетилтриметиламмония-N-бромида. Элюирование белков с колонки проводили тем же растворителем со скоростью 15–18 см³/ч. Фракции объемом 2,4 см³ собирали на коллекторе Minirac fraction collector 17000 (LKB, Швеция) со скоростью 12 см³/ч. Регистрацию оптической плотности элюата осуществляли при длине волны 280 нм на спектрофотометре СФ-102 («Аквилон», Россия). Для определения молекулярной массы белковых фракций колонку маркировали стандартными метчиками с известной молекулярной массой (Serva, Швеция).

Спектроскопическое исследование белков круговым дихроизмом (КД). Спектры КД измеряли на дихрографе Chirascan фирмы Applied Photophysics (Англия). Прибор калибровали по (1S)-(+)-10– камфаросульфоновой кислоте (Sigma C-1395) [32]. Спектры снимали в кварцевых кюветах с длиной пути 0,1 см. Кюветы термостатировали при 20 °С в Пельтье термостате с охлаждением марки LCI-030EL (Daihan Labtech, Корея). Спектральная ширина щели дихрографа –1 нм, постоянная времени — 3 с, скорость сканирования — около 9 нм/мин. Концентрацию белка определяли по спектрам поглощения, которые измеряли одновременно со спектрами КД. Для этого использовали коэффициенты экстинкции белков при 220, 215, 210, 205 и 200 нм: 11, 15, 20, 31, 45 с применением коэффициентов экстинкции пептидной связи (оптическая плотность в кювете толщиной 1 см при концентрации белка в 1мг/см³), взятые из литературы [33–35].

Средний вес аминокислотного остатка белков (100 Да) определяли, исходя из аминокислотного состава [36]. Спектры представлены в единицах молярной эллиптичности [Θ], рассчитанной по формуле:

$$[\Theta] = \Theta \frac{M}{c^* l^* 100} \quad (1),$$

где Θ — экспериментальная эллиптичность в градусах;
M — средний вес одного аминокислотного остатка;
с — концентрация белка, г/см³;
l — толщина кюветы, дм.

Для расчетов использовали спектры 32 белков из базы данных 108 глобулярных белков с известной вторичной структурой. Отбор производили по критерию среднеквадратичной близости спектров КД реперных белков со спектрами КД исследуемых белков. С целью определения погрешности проанализировали выборку из 32 белков. Для этого последовательно исключали спектр КД одного белка и для оставшихся 31 спектра рассчитывали коэффициенты регрессии [36], которые использовали для выявления 5 элементов вторичной структуры у исключенного белка. Затем из обучающей выборки исключали второй белок, первый белок включали вновь в выборку и т. д. Дисперсия результатов, максимально возможная ошибка расчета и коэффициенты корреляции для каждого элемента вторичной структуры приведены в Таблице 1.

Таблица 1. **Погрешности определения элементов вторичной структуры белков**

Table 1. **Errors of determination of elements of protein secondary structure**

Тип вторичной структуры	Дисперсия	Максимальное отклонение	Коэффициент корреляции
α-спираль	5,0	8,7	0,93
3_{10} -спираль	2,3	5,2	0,48
β-структура	5,8	10,8	0,90
β-изгибы	2,6	6,0	0,60
Нерегулярная	4,5	12,8	0,66

Инфракрасная (ИК) спектроскопия белков. Инфракрасные спектры регистрировали, создавали 30 сканов при разрешении 2 см$^{-1}$. Образцы для регистрации спектров на ИК-Фурье спектрометре IFS66 v/s (Bruker Optik GmbH, Германия) в области 400–4000 см$^{-1}$ готовили в виде таблеток порошка белка, спрессованных с KBr; математическую обработку спектров проводили в программном пакете OPUS-7 [36].

Содержание сульфгидрильных (SH) групп и дисульфидных (S–S) связей. Восстановленные тиоловые группы в БК и ГБК определяли флуоресцентным методом с реактивом TioGlo1 (3H-нафтол [2,1-b] пиран-s-карбоновая кислота) фирмы Calbiochem (США), в основе которого лежит образование флуоресцирующего аддукта с максимумом испускания флуоресценции при 506 нм и длине волны возбуждения 379 нм [37]. К 50 мкдм³ раствора белка при концентрации 2,5 мг/см³ в DMSO (диметилсульфоксид) добавляли 5 мкдм³ 10 мМ раствора TioGlo1 в DMSO и инкубировали при 20 °С в течение 20 мин. Аналогично готовили образцы с добавлением 5 мкдм³ 5%-ного раствора ДДС-Na и 20%-ного раствора меркаптоэтанола. Образцы с ДДС-Na инкубировали 20 мин при 50 °С. Перед измерением пробы разбавляли в 50 раз 10 мМ К-фосфатным буфером, с меркаптоэтанолом — в 5000 раз. Спектры регистрировали на спектрофлуориметре RF-5301 PC (Shimadzu, Япония) при средней скорости сканирования и ширине щели возбуждающего и испускающего света 3 нм. Для пересчета

интенсивности флуоресценции (Е) в содержание –SH-групп использовали калибровочный график, построенный по глютатиону, из которого следовало, что концентрация SH = 1,04 * Е, мкМ.

Агрегирующая способность белков. К 1,0 г БК добавляли 10 см³ 0,05 моль/дм³ CH_3COOH, суспензию встряхивали 1 час и центрифугировали 15 мин при 6000 мин$^{-1}$. В растворе определяли содержание белка по Лоури и разводили той же кислотой до 0,2% концентрации. К 1,3 см³ 0,02%-ного раствора белка добавляли 1,3 см³ 0,2 моль/дм³ фосфатного буфера с 2 моль/дм³ NaCl (pH 5,6) и измеряли оптическую плотность на СФ при длине волны 350 нм через каждые 5 с в течение 45 с. Константу начального ($K \times 10^4$) и конечного ($\tau_{10/C}$) этапов агрегации определяли по формулам, приведенным в работе [38].

Функционально-технологические свойства БК и ГБК оценивали по водо-, жиросвязывающей, пенообразующей, жироэмульгирующей способностям, стабильности пены, стабильности эмульсии [24]. Для определения растворимости БК и ГБК к навеске образца около 0,5 г, добавляли 20 см³ воды, в течение 30 мин встряхивали при 150 об/мин и оставляли на ночь при 4 °С. Дисперсию вновь встряхивали 1 ч и центрифугировали 15 мин при 16000 об/мин. Центрифугат сливали в мерную колбу на 100 см³. Раствор доводили до метки и определяли содержание белка по методу Къельдаля, выражая его в процентах от общего содержания в навеске.

Количественное определение флавоноидов. Количество флавоноидов в БК и ГБК определяли спектрофотометрическим методом, основанным на их способности поглощать свет в УФ-области спектра при 276 нм [39]. Навеску концентрата около 1 г, взвешенного с точностью до 4-го знака, помещали в колбу на 100 см³, добавляли 50 см³ 50%-ного этилового спирта; колбу присоединяли к обратному холодильнику и нагревали на кипящей водяной бане 1 ч. Экстракт фильтровали в мерную колбу на 100 см³ через бумажный фильтр, объем раствора доводили 50%-ным этиловым спиртом до метки (раствор А). 5 см³ раствора А помещали в мерную колбу на 100 см³ и объем раствора доводили 50%-ным этиловым спиртом до метки, перемешивали и получали раствор Б. Оптическую плотность раствора Б измеряли при длине волны 276 нм (КФК-2, ЗОМЗ, Россия) в кювете 10 мм с использованием в качестве раствора сравнения 50%-ного этанола. Параллельно определяли оптическую плотность раствора галловой кислоты (КФК-2, ЗОМЗ, Россия). Для приготовления ее раствора около 0,05 г ее помещали в колбу на 100 см³, прибавляли 50 см³ 50%-ного этанола, перемешивали, объем доводили тем же растворителем до метки. 2 см³ полученного раствора помещали в мерную колбу на 100 см³, объем доводили тем же растворителем до метки. Содержание суммы фенолкарбоновых кислот в пересчете на галловую кислоту на абсолютно сухое вещество в процентах (Х) вычисляли по формуле:

$$X = \frac{D.m_0.2.100.100.100}{D_0.100.100.m.5(100-W)} \quad (2),$$

где D — оптическая плотность испытуемого раствора;
D_o — оптическая плотность раствора галловой кислоты;
m — масса навески сырья, г;
m_o — масса навески галловой кислоты, г;
W — массовая доля влаги, %.

Статистическая обработка данных. Анализы проводились в 3–5 повторностях, результаты представлены как средние арифметические со средними квадратичными ошибками среднего арифметического (M ± m) [40]. Статистическую обработку результатов осуществляли методами дисперсного и корреляционного анализов с программой Statistica 6.0.

3. Результаты и обсуждение

Функционально-технологические свойства (ФТС). Установлено, что ЖСС, ВСС и растворимость БК из белого риса выше на 10–15%, чем аналогичные свойства БК из коричневого риса; ПОС выше почти в 5–6 раз, стабильность пены у БК из коричневого риса отсутствовала (Таблица 2).

Функциональные свойства ГБК из белого и коричневого риса, полученных с ФП Protamex®, отличались от свойств негидролизованных БК. Так, ВСС гидролизата из белого риса на 19% выше, ПОС — в 3 раза больше, тогда как ЖСС, ЖЭС и СЭ, наоборот, меньше на 4–8%, чем у негидролизованных БК. Аналогичная закономерность установлена и для БК из коричневого риса: ВСС выше на 14%, ПОС — в 3,5 раза, а ЖСС, ЖЭС и СЭ у ГБК, наоборот, на 7–15% ниже. Растворимость концентратов из обоих видов риса после гидролиза повышалась в 11–14 раз.

Важно отметить, что ГБК из белого риса обладал всегда более высокими функциональными свойствами, чем ГБК из коричневого риса: ВСС, ЖСС, ЖЭС и СЭ выше на 7–18%, ПОС — в 5 раз больше, растворимость — на 21% лучше. Пена у ГБК, как и у негидролизованного БК из коричневого риса, нестабильная. Таким образом, пенообразующие свойства и растворимость у ГБК выше, чем у БК; оба вида концентратов из белого риса имели более высокие значения функциональных свойств по сравнению с концентратами из коричневого риса. Особенно это относилось к ПОС и растворимости, что можно было объяснить влиянием фенольных соединений на структуру и свойства белков.

Таблица 2. **ФТС концентратов из белого и коричневого риса**
Table 2. **Functional and technological properties of concentrates from white and brown rice**

ФТС	Белый рис		Коричневый рис	
	БК	ГБК	БК	ГБК
Водосвязывающая способность (ВСС), г/г	1,50 ± 0,02*	1,78 ± 0,01*	1,32 ± 0,05*	1,51 ± 0,05*
Жиросвязывающая способность (ЖЭС), г/г	1,42 ± 0,02*	1,32 ± 0,03*	1,27 ± 0,04*	1,10 ± 0,02*
Жироэмульгирующая способность, (ЖЭС), %	50,0 ± 0,5*	48,0 ± 1,0*	46,0 ± 1,0*	43,0 ± 0,5*
Стабильность эмульсии (СП), %	50,0 ± 0,0*	48,0 ± 0,0*	48,0 ± 0,0*	43,0 ± 0,0*
Пенообразующая способность (ПОС), %	90,0 ± 0,5*	280,0 ± 1,0*	16,0 ± 1,0*	55,0 ± 2,0*
Стабильность пены (СП), %	83,0 ± 1,0	83,0 ± 1,50	0	0
Растворимость, %	3,01 ± 0,15*	42,52 ± 0,06*	2,63 ± 0,03*	35,04 ± 0,20*

Примечание: *достоверные значения при p = 0,05.

Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). Для объяснения различий в ФТС концентратов использовали и рисовую муку. При сравнении компонентного состава муки и БК из белого риса видно, что первые фракции белков муки на выходе появлялись на 320 секунде, тогда как белки фракции БК — на 340 (Рисунок 1А). ММ белков муки при этом варьировали от 1,45 до 187 кДа, тогда как у белков БК — от 1,45 до 167 кДа. Эти данные указывали на то, что в процессе получения БК из белого риса наблюдался частичный распад белков муки (ММ 167–187 кДа) с образованием более низкомолекулярных компонентов. Подобных результатов для БК из коричневого риса не наблюдали (Рисунок 1В). Белки муки и БК, полученные из белого риса, делились на две фракции, тогда как белки коричневого риса стекали с колонки одним пиком, что свидетельствовало о более сильном взаимодействии между компонентами коричневого риса и меньшей степени однородности их ММ. Было предположено, что на структуру и агрегативное состояние компонентов влияли красящие вещества риса. Если белки БК из белого риса начинали выходить из колонки на отметке около 400 с, то белки БК из коричневого риса — на 300 с, что также указывало на более высокие ММ компонентов (1,45 ÷ 217 кДа) и на определенную степень агрегации.

Белки ГБК, полученного протеолизом из белого риса, стекали с колонки одной фракцией и позже, чем белки БК, на что указывали более низкие значения ММ (1,45 ÷ 115 кДа против 1,45÷167кДа). Белки ГБК из коричневого риса стекали в объеме двух фракций, но диапазон ММ компонентов был таким же, как и у БК — 1,45 ÷ 217 кДа. Второй невысокий пик отражал присутствие компонентов с очень низкой ММ — 4,47 ÷ 7,49 кДа (Рисунок 1В). Таким образом, концентраты из коричневого риса содержали компоненты с более высокой ММ, чем концентраты из белого риса: до 217 кДа против 115 кДа. Белки коричневого риса в меньшей степени подвергались протеолизу под действием эндопротеиназы ФП Protamex. Белки муки из зерна белого риса были более гетерогенные по ММ по сравнению с мукой из коричневого риса. В процессе выделения БК белки муки из белого риса (ММ 167÷187 кДа) частично распадались на компоненты с более низкой ММ, вероятно, за счет большей доступности для ферментных препаратов.

Гель-фильтрация белков на сефадексе G-150. Метод гель-фильтрации позволил более детально фракционировать белки рисовых БК и ГБК. Учитывая различия в компонентном составе БК, полученных из белого и коричневого риса методом ВЭЖХ, и предположение о влиянии на него красящих соединений, экстинкцию профилей элюции фракций измеряли при 280 нм и 405 нм. При длине волны 405 нм свет поглощают флавоноиды типа рутина [41], при длине 280 нм — белки. БК из обоих видов риса включали 13 фракций с различными ММ: для белого риса (Рисунок 3А) — от 1,3 кДа до

199,5 кДа (Таблица 3), для коричневого риса (Рисунок 2В) — от 1,3 кДа до 251,1 кДа (Таблица 3). ММ белков в высокомолекулярной области у БК из белого риса меньше (69,2 ÷ 199,5 кДа), чем у БК из коричневого риса (77,6 ÷ 251,1 кДа) (Таблица 3). Большая часть белков белого риса была сосредоточена в VIII пике (34,4%), тогда как у коричневого — в I пике (45,3%).

Измерением экстинкции фракций при 405 нм установлено, что в БК из коричневого риса флавоноиды присутствовали в I пике вместе с компонентами с средней ММ — 216 кДа (Рисунок 2В, кривая 3). В БК из белого риса данные соединения распределялись между тремя белковыми фракциями и со значительно меньшей ММ: 131 кДа; 10 кДа; 4 кДа (Рисунок 2, кривая 3). Заключили, что более низкие значения ПОС у БК из коричневого риса (Таблица 4) были обусловлены взаимодействием флавоноидов с высокомолекулярными белками, обеспечивающим такую структуру комплексов, у которой гидрофильные –ОН группы бензольных ядер при помощи водородных связей взаимодействовали с кислородом пептидных групп, а гидрофобные радикалы флавоноидов располагались на поверхности белков и не способствовали взаимодействию БК с водой, удержанию ее на поверхности пенных пленок, тем самым и стабильности.

У белков белого риса, подвергнутых протеолизу (ГБК), обнаружено 18 фракций вместо 13 у БК (Рисунок 2А, кривая 2). Количество

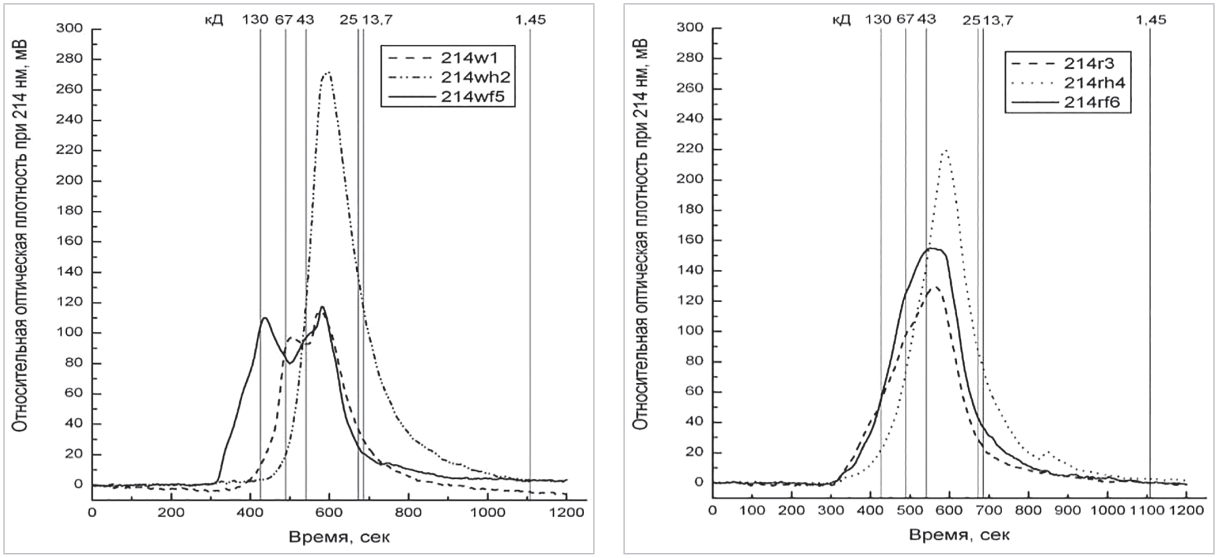


Рисунок 1. **Фракционный состав белков: А — белый рис; В — коричневый рис; 214wf5 и 214wf6 — рисовая мука; 214w1 и 214r3 — БК; 214wh2 и 214rh4 — ГБК**

Figure 1. **Fractional composition of proteins: A — white rice; B — brown rice; 214wf5 and 214wf6 — rice flour; 214w1 and 214r3 — PC; 214wh2 and 214rh4 — hydrolyzed PC**

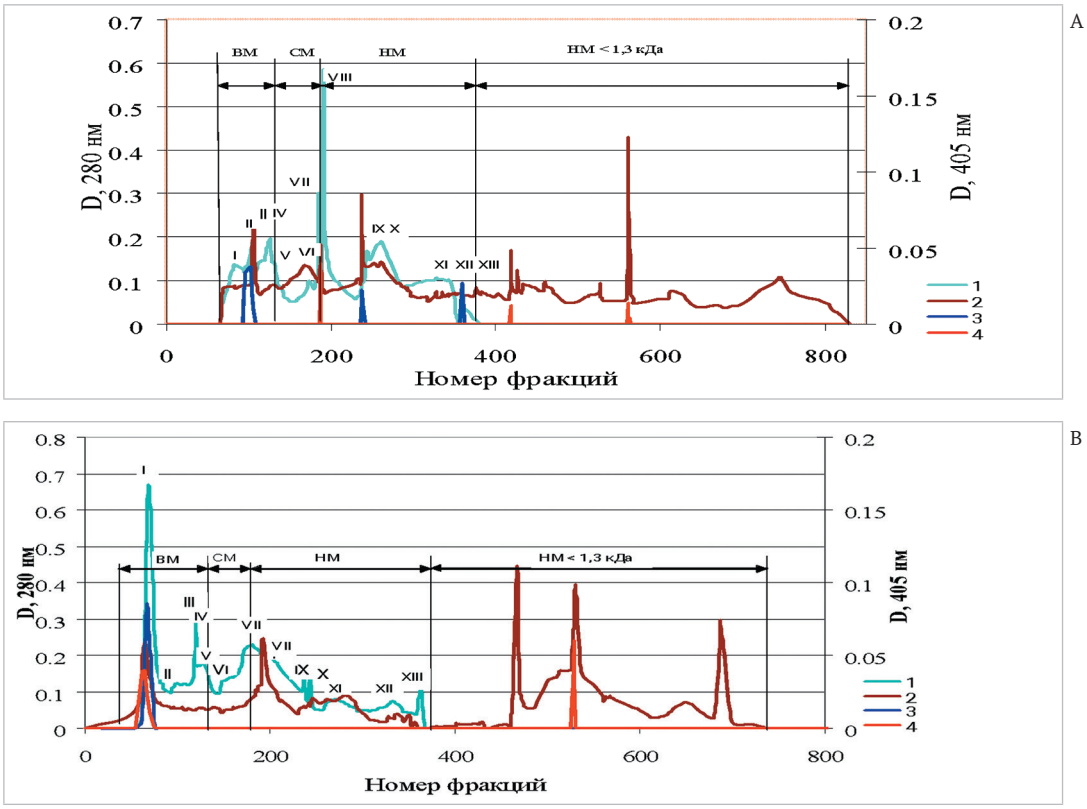


Рисунок 2. **Гель-хроматография БК из белого (А) и коричневого (В) риса на сефадексе G-150: экстинкция при 280 нм: 1 — БК; 2 — ГБК; экстинкция при 405 нм: 3 — БК; 4 — ГБК**

Figure 2. **Gel chromatography of PC from white (A) and brown (B) rice on sephadex G-150: extinction at 280 nm: 1 — PC; 2 — hydrolyzed PC; extinction at 405 nm: 3 — PC; 4 –hydrolyzed PC**

высокомолекулярных компонентов в них уменьшилось почти в 2 раза, низкомолекулярных (ММ 1,3 ÷ 27,5 кДа) — в 2,5 раза, а число компонентов со средней ММ (27,5–63,1 кДа) осталось без изменений (Таблица 2). После гидролиза верхняя граница ММ высокомолекулярных компонентов снизилась с 199,5 кДа до 120,2 кДа, образовались пептиды с ММ менее 1,3 кДа в количестве 52,8% от общей массы компонентов. Если у БК из белого риса флавоноиды распределялись между одной высокомолекулярной фракцией (131 кДа) и двумя низкомолекулярными (ММ 4 и 10 кДа) (Рисунок 2А, кривая 3), то у ГБК — между одной со средней молекулярной массой (ММ 27,5 кДа) и двумя низкомолекулярными фракциями (ММ < 1,3 кДа) (Рисунок 2А, кривая 4).

Таблица 3. **Молекулярные массы (ММ) и содержание белковых компонентов БК и ГБК**

Table 3. **Molecular weights (MW) and the content of protein components of PC and hydrolyzed PC**

Компоненты	Белый рис		Коричневый рис	
	ММ, кДа	%, от общей массы	ММ, кДа	%, от общей массы
Компоненты БК				
Высокомолекулярные	69,2–199,5	24,5 ± 1,4*	77,6–251,1	51,3 ± 1,9*
Среднемолекулярные	27,5–69,2	9,0 ± 0,8*	28,5–77,6	18,5 ± 0,6*
Низкомолекулярные	1,3–27,5	66,5 ± 2,1*	1,3–27,5	30,2 ± 1,6*
Низкомолекулярные	0	0	0	0
Компоненты ГБК				
Высокомолекулярные	631–120,2	12,4*	77,6–251,1	12,8 ± 0,6*
Среднемолекулярные	27,5–63,1	8,70*	27,5–77,6	8,7 ± 0,8*
Низкомолекулярные	1,3–27,5	26,1*	1,3–27,5	27,5 ± 2,4*
Низкомолекулярные	< 1,3	52,8*	< 1,3	51,0 ± 1,1*

Примечание: *достоверные значение при p = 0,10.

Таблица 4. **Корреляционная взаимосвязь между ПОС концентратов и ММ их белков**

Table 4. **Correlation between the foaming ability of concentrates and MW of their proteins**

№ п/п	Белковые концентраты	ПОС, %	ММ (верхняя граница), кДа	Высокомолекулярные компоненты, % от общих
Белый рис				
1	БК	90,0 ± 1,0	199,5	24,5 ± 0,6
2	ГБК	280,0 ± 2,0	120,2	12,4 ± 1,4
Коричневый рис				
3	БК	15,6 ± 1,0	251,1	51,3 ± 2,7
4	ГБК	55,0 ± 1,5	251,1	12,8 ± 2,0
Коэффициент корреляции, r			- 0,95	- 0,80

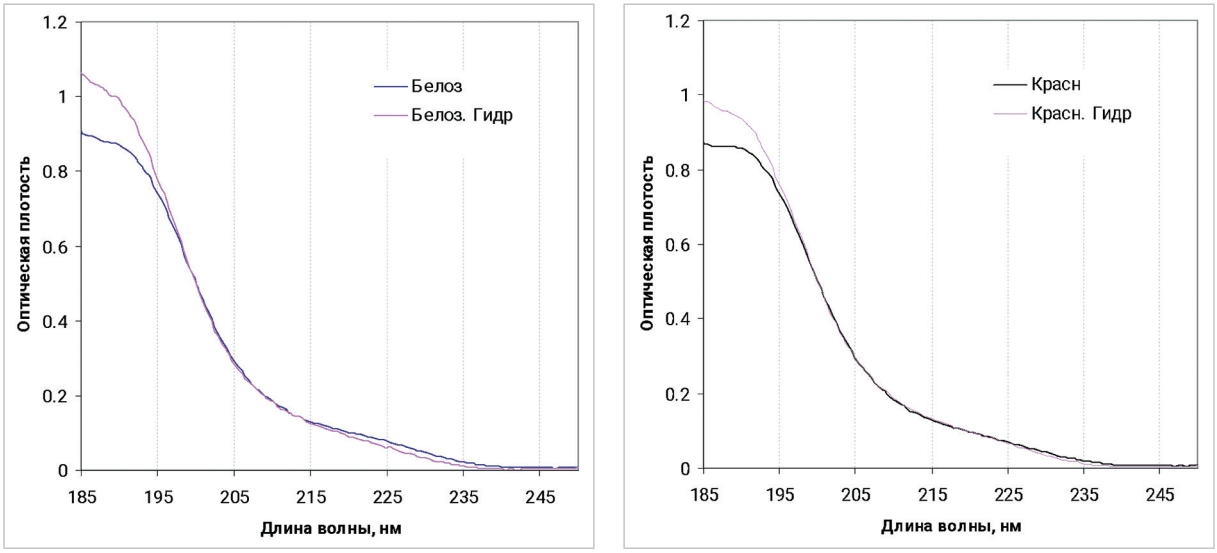
Верхняя и нижняя граница значений ММ высокомолекулярных компонентов коричневого риса после гидролиза остались без изменений. ММ всех компонентов выше, чем у ГБК из белого риса, особенно в высокомолекулярной области. Флавоноиды у ГБК из коричневого риса располагались в составе двух белковых фракций: высокомолекулярной (ММ 216 кДа) и низкомолекулярной (ММ < 1,3 кДа) (Рисунок 2В, кривая 4). Следовательно, после гидролиза, как и у белого риса, уменьшалось количество флавоноидов, находящихся во взаимодействии с высокомолекулярными белками, что, вероятно, благоприятно отразилось на ПОС, по сравнению с негидролизованными БК (Таблица 2). Между показателями существовала сильная корреляционная взаимосвязь (Таблица 4).

Более низкая ПОС у БК (15,6%) и у ГБК (55%) из коричневого риса, а также отсутствие стабильности пены (Таблица 2) взаимосвязаны со значениями ММ и с количеством ВМ белковых компонентов. Рисовые белки с высокой ПОС (280%) содержали полипептиды с ММ не более 120 кДа. Чем выше были значения ММ белков и содержание ВМ-фракций (ММ > 120 кДа), тем ниже были пенообразующие свойства концентратов.

В БК из коричневого риса с более низкими значениями ПОС флавоноидов содержалось в 2,3 раза больше, чем в БК и ГБК из белого риса. В нативных БК и ГБК из белого риса их количество — 560 ± 3 и 561 ± 2 мг/100 г на СВ, из коричневого — 1328 ± 3 и 1305 ± 5 мг/100 г на СВ. Таким образом, низкие значения ПОС и стабильности пены концентратов из коричневого риса были взаимосвязаны с наличием флавоноидов и фракциями белков с ММ 77,6 ÷ 251,1 кДа.

Спектроскопия кругового дихроизма (КД) рисовых белков. Для изучения параметров вторичной структуры перестроек в молекулах рисовых белков после их гидролиза и обоснования различий в функциональных свойствах БК и ГБК использовали метод КД [42]. Метод основан на оптических явлениях, связанных с электронными переходами в хиральных молекулах в ультрафиолетовой области (УФ) поглощения. Вид спектра зависит от конформации полипептидной цепи и вторичной структуры [42]. Оказалось, что в области длины поглощения пептидной связи 185 ÷ 245 нм спектры белков из белого и коричневого риса практически идентичны друг другу. Спектры поглощения ГБК несколько отличались от спектров БК (Рисунок 3). У гидролизатов из белого риса наблюдалось увеличение поглощения в области 190 нм, при которой обычно наблюдается максимум поглощения пептидной связи, и уменьшение поглощения в области 225 нм (Рисунок 3А). ГБК из коричневого риса характеризовались несколько меньшим увеличением поглощения в области 190 нм и одновременным отсутствием уменьшения поглощения в области 225 нм (Рисунок 3В). Использование метода определения концентрации белков по коэффициентам экстинкции при 205 нм (максимальное поглощение пептидной связью) оправдано, так как при 5 разных длинах волн метод давал минимальные отличия от результатов поглощения (Таблица 5).

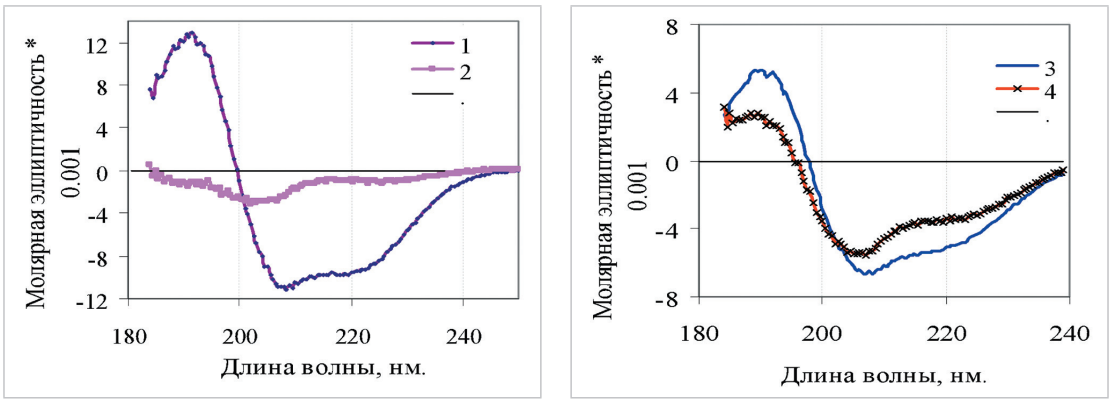
Из Рисунка 4 видно, что спектр КД белков белого риса характеризовался свойственными для α-спирали положительным максимумом при 191 нм и отрицательными полосами — при 208 и 221 нм



A B

Рисунок 3. **Спектры поглощения белков: А — БК из белого риса; В — БК из коричневого риса**

Figure 3. **Absorption spectra of proteins: A — PC from white rice; B — PC from brown rice**



A B

Рисунок 4. **Сравнительная характеристика спектров КД концентратов: А — белый рис; В — коричневый рис; 1 — БК; 2 — ГБК; 3 — БК; 4 — ГБК**

Figure 4. **Comparative characteristics of circular dichroism spectra of concentrates: A — white rice; B — brown rice; 1 — PC; 2 — hydrolyzed PC; 3 — PC; 4 — hydrolyzed PC**

[29,37]. Однако точка пересечения спектра с нулевой линией находилась не при 202 нм, характерных для спектра чистой α-спирали, а при 199 нм (Рисунок 4, кривая 1). Это указывало на высокое содержание неспирализованных участков в белках, что подтверждалось и небольшой амплитудой сигнала.

Таблица 5. **Концентрация белка в БК и ГБК из белого и коричневого риса**

Table 5. **Protein concentration in PC and hydrolyzed PC from white and brown rice**

Концентраты	Длина волны, нм					
	200	205	210	215	220	Среднеарифметическое значение
	Концентрация белка, мг/см³					
Белый рис:						
БК	0,111	0,094	0,092	0,087	0,091	0,095*
ГБК	0,117	0,100	0,095	0,089	0,095	0,099*
Коричневый рис:						
БК	0,123	0,105	0,099	0,092	0,098	0,103*
ГБК	0,129	0,111	0,104	0,096	0,099	0,108*

Примечание: *достоверные значение при p = 0,05.

Расчеты показали, что суммарное содержание участков α-спирали и 3_{10}-спирали не достигало и 30% (Таблица 6). Низкое количество 3_{10}-спирали не противоречило литературным данным о незначительном распространении данной формы структуры среди других белков. ГБК характеризовались падением амплитуды сигнала КД, сильной деформацией формы спектра, особенно это отмечено для белого риса (Рисунок 4, кривая 2).

Таблица 6. **Вторичная структура белков рисовых концентратов, %**

Table 6. **Secondary structure of proteins of rice concentrates, %**

№ п/п	Вторичная структура	Белый рис		Коричневый рис	
		БК	ГБК	БК	ГБК
1	α — спираль	23±0,03*	2±0,02*	10±0,03*	5±0,01*
2	3_{10} — спираль	5±0,01*	4±0,03*	4±0,01*	4±0,03
3	β — структура	23±0,04*	36±0,05*	31±0,05*	35±0,02*
4	β — изгибы	14±0,02*	9±0,03*	12±0,04*	10±0,01*
5	Нерегулярная структура	36±0,04*	47±0,04*	42±0,04*	46±0,03*
6	Сумма	101±0,03*	98±0,04*	99±0,04*	100±0,04*

Примечание: *достоверные значение при p = 0,05.

Вторичная структура ГБК изменялась: почти полностью исчезали α-спиральные участки и одновременно увеличивались β-структуры и нерегулярные участки (в сумме на 94%). Гидролиз белков коричневого риса не приводил к столь значительной деформации спектров КД (Рисунок 4, кривая 4). На 50% уменьшилось количество α-спиральных участков и на 21% увеличилась доля β-структур и нерегулярных участков, что указывало на большую устойчивость белков БК из коричневого риса к ферментативному гидролизу. Вероятно, что нерегулярность структуры белков данного вида риса и их устойчивость к протеазам обусловлены взаимодействием с флавоноидами, количество которых в этих БК было больше, чем в концентрате из белого риса. Результаты хорошо согласовывались с молекулярно-весовым распределением белков на сефадексе G-150.

Инфракрасная (ИК) спектроскопия БК. Известно, что ИК-спектры возникают в результате колебательного движения молекул в длинноволновой области (> 730 нм) за счет переходов между колебательными уровнями их электронного состояния [43]. По таким спектрам устанавливают строение молекул различных ферментов, алкалоидов, белков и т. д. По числу и положению пиков в ИК-спектрах судят о природе веществ, а по интенсивности полос — об их количестве. ИК-спектры первичных амидов имеют две полосы поглощения, характерные для свободных NH_2 — групп (около 3500 и 3400 $см^{-1}$), и две полосы, характерные для группы C=O: при 1690–1630 $см^{-1}$ (амидная полоса I) и 1620–1590 $см^{-1}$ (амидная полоса II) [43]. Для обоих видов БК свойственны типичные спектры полипептидов. Наиболее интенсивными в них были полосы в области 3500–3200$см^{-1}$, отражающие валентные колебания ассоциированных связей N–H, и полосы 1664 и 1531 $см^{-1}$, характеризующие амид I и амид II группы C=O в пептидных группах белков (Рисунок 5).

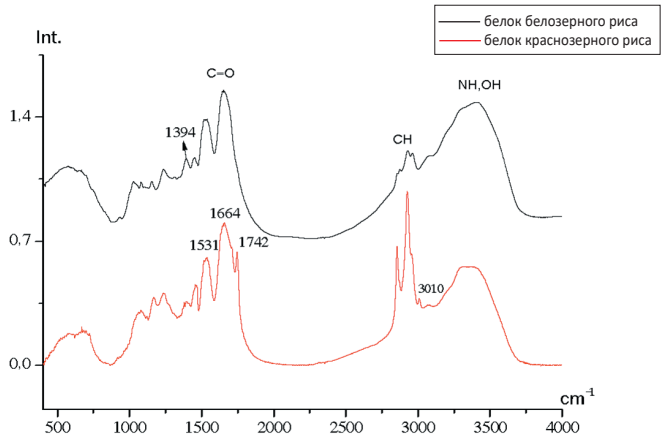


Рисунок 5. **Инфракрасные спектры белковых концентратов**

Figure 5. **Infrared spectra of protein concentrates**

Функциональные группы в составе БК двух образцов риса были разные, на что указывали различия в спектрах в области поглощения связей C–H и C=O. Высокая интенсивность полос в области 2840–2960 $см^{-1}$, соответствующая валентным колебаниям связей C–H в насыщенных группах $–CH_2$, указывала либо на повышенное содержание лизина в БК из коричневого риса, либо на присутствие групп $–CH_2$ семейства флавоноидов (флаваноны, изофлавононы, дигидрохалконы с антоцианидинами, антоцианинами катехинами, катехолтанинами) [17,19,20,44]. В этом же спектре отчетливо проявлялась

ненасыщенность функциональных групп (полосы 3010 $см^{-1}$, 700–740 $см^{-1}$), которая может быть связана с высоким уровнем непредельности ароматических секстетов (–C=C) двух бензольных ядер флавоноидов. Помимо бензольных ядер, у флавоноидов ненасыщенной была и трех-углеродная матрица (–C–C–C–), соединяющая ядра [44]. Возможно, что в данном БК также было высокое содержание типтофана [39]. Исключить присутствие таких групп атомов в составе БК из белого риса было невозможно, но содержание их ничтожно мало по сравнению с БК из коричневого риса.

В спектре БК из коричневого риса имелась и отчетливая интенсивная полоса 1742 $см^{-1}$, характерная либо для кетонной ($R_2C=O$), либо для сложноэфирной ($R–C(=O)–OR_1$) группировки. Такая полоса, а следовательно, и такие функциональные группы, не обнаружены в структуре БК из белого риса. Очевидно, что это связано с присутствием в матрице флавоноидов коричневого риса большого количества кето-группировок (=C=O) и метиловых эфиров гидроксигрупп [44], располагающихся либо внутри белковых структур, либо на их поверхности. О наличии свободных карбоксильных групп –R–C(=O)–OH в белках можно было судить по отчетливому плечу в области 1700$см^{-1}$ ($\nu_{C=O}$) и по расщеплению широких полос в области 3500–3200$см^{-1}$ (ν_{OH}). При этом в спектре белков из коричневого риса карбоксильная группа присутствовала в кислой форме, а среди белков из белого риса — в солевой $–C(=O)O^-$, на что указывала повышенная интенсивность полосы в областях 1530 и 1394$см^{-1}$, характерных для карбоксилат-аниона.

После протеолиза в белках происходили незначительные изменения, за исключением изменений в области валентных колебаний OH– групп и N–H– связей (Рисунок 6).

Интенсивность полос в этой области изменилась, что указывало на дополнительное появление свободных NH_2– групп в белках. Водородные связи при этом перераспределились, что сопровождалось изменением интенсивности полос от групп OH и N–H– связей. Если в спектрах ГБК из коричневого риса изменения минимальные, то в спектрах из белого риса они более заметные. После гидролиза увеличилось и содержание ионизированных карбоксильных групп, на что указывало усиление интенсивности и сдвиги полос в области 1394–1530 $см^{-1}$. Следовательно, большая глубина структурных перестроек в белках белого риса подтвердилась и с участием функциональных групп.

Данные ИК-спектроскопии хорошо объяснили результаты КД белков: разрушение правой α-спирали и β-изгибов при гидролизе белков риса увеличивало количество свободных $–NH_2$ и –COOH групп. Тенденция перераспределения водородных связей заключалась в их разрыве при разрушении α-спирали, β-изгибов с образованием новых при формировании дополнительной складчатой β-структуры и нерегулярных областей. В ГБК из коричневого риса изменения в поглощении функциональных групп менее значительные, чем у ГБК из белого риса, что хорошо согласовывалось с данными КД и молекулярно-весового распределения белков на сефадексе G-150. В составе БК из коричневого риса, вероятно, из-за присутствия кето- и сложноэфирных группировок флавоноидов отмечена большая степень ненасыщенности и, возможно, более высокое содержание триптофана.

Содержание сульфгидрильных групп и дисульфидных связей. Для определения роли SH– групп и S–S-связей в структуре концентратов определено их количество флуоресцентным методом. Проведены три серии опытов: первая — с белками, растворенными в диметилсульфоксиде (ДМСО), биполярном растворителе; вторая — в 5%-ном растворе ДДС-Na; третья — в 20%-ном меркаптоэтаноле, восстанавливающем S–S-связи. Типичные спектры флуоресценции белков (506 нм) при длине волны возбуждения 379 нм для белого риса приведены на Рисунке 7, результаты пересчета интенсивности флуоресценции в количество SH– групп и S–S связей — в Таблице 7. Количество доступных SH-групп в белках, растворенных в ДМСО, было выше, чем в ДДС–Na. Следовательно, в структуре белков электростатические взаимодействия играли большую роль, чем гидрофобные, так как ДМСО разрывает именно эти связи, а ДДС-Na больше воздействует на гидрофобность [29]. С учетом данного факта, расчет S–S-связей произведен по SH– группам, выявленным в растворе с ДМСО. Количество свободных SH– групп в нативных БК обоих видов риса практически одинаково, тогда как содержание S–S-связей в БК из белого риса почти на 60% выше, чем в БК из коричневого риса. Это можно связать и с большим значением ПОС (Таблица 3). После гидролиза белков риса с ФП количество SH– групп сократилось на 32%, в то время как в белковых компонентах из коричневого риса этот показатель составил 7%.

Таблица 7. **Содержание SH-групп и S–S-связей в концентратах, мкмоль/мг белка**

Table 7. **Content of SH groups and S–S bonds in concentrates, μmol/mg protein**

№ п/п	Концентрат	Реагент			S-S связи
		ДМСО	ДДС-Na	Меркапто-этанол	
	Белый рис	**SH-группы**			
1	БК	763,2 ± 1,5*	486,0 ± 3,4*	1287,4 ± 0,8*	262,1 ± 1,3*
2	ГБК	577,3 ± 2,6*	402,9 ± 5,6*	2003,2 ± 1,4*	813,4 ± 0,6*
	Коричневый рис	SH-группы			
3	БК	773,9 ± 3,7*	454,2 ± 2,7*	1108,8 ± 3,5*	167,4 ± 0,7*
4	ГБК	721,5 ± 2,7*	328,3 ± 17*	1630,5 ± 2,1*	454,5 ± 1,8*

Примечание 1: ДМСО — диметилсульфоксид; ДДС-Na — додецилсульфат Na.
Примечание 2: * достоверные значения при p = 0,05.

Одновременно в образцах увеличилось количество S–S-связей: из белого риса — в 3,1 раза, из коричневого — в 2,7 раза. Эти данные вновь указывали на меньшие структурные перестройки при гидролизе белков из коричневого риса.

Сульфгидрил-дисульфид индуцированная реакция является следствием разрушения α-спиралей и β-изгибов (Таблица 7), которые, вероятно, были скрыты до гидролиза внутри белковых глобул.

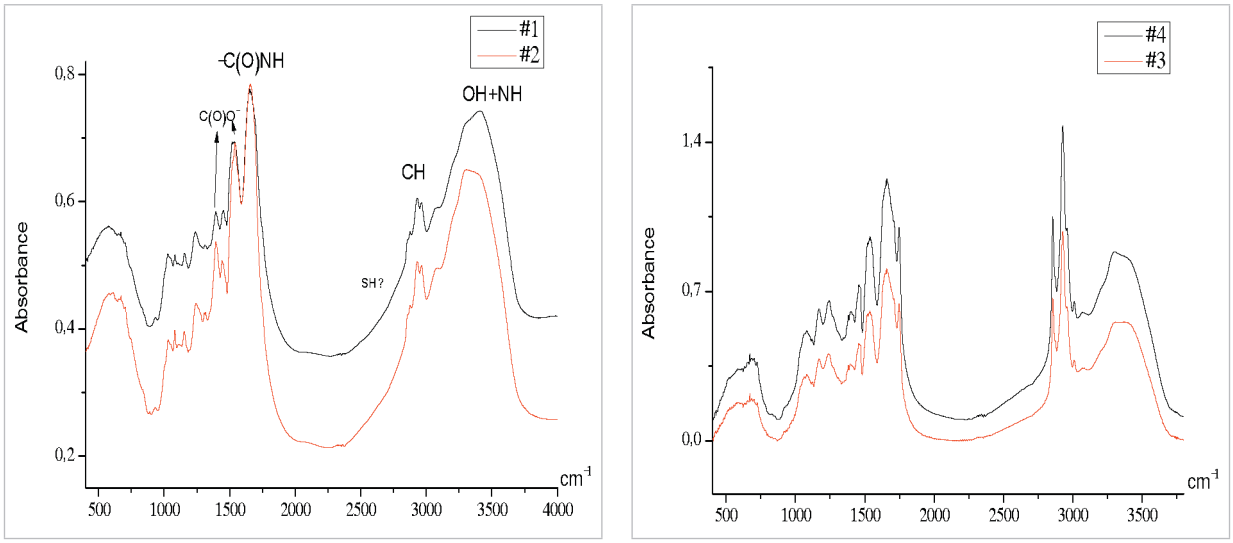


Рисунок 6. **ИК-спектры рисовых белковых концентратов: А — белый рис; В — коричневый рис; 1, 3 — БК; 2, 4 — ГБК**

Figure 6. **Infrared spectra of rice protein concentrates: A — white rice; B — brown rice; 1, 3 — PC; 2, 4 –hydrolyzed PC**

Разрыв пептидных связей приводил к увеличению количества доступных SH– групп и к формированию новых связей между молекулами белков в реакции окисления цистеина с образованием S–S мостиков и/или путем SH-индуцированного S–S перехода. Процессы сопровождались увеличением в белках доли складчатой β-структуры и неупорядоченной структуры. Таким образом, гидролиз белков риса эндопротеазным ФП Protamex сопровождался конформационными переходами в молекулах белков, приводящих к реорганизации вторичной структуры (α-спираль, β-структура, неупорядоченные участки) и к SH/S–S переходам. Сульфгидрил-дисульфидные переходы, как и изменения элементов вторичной структуры, в большей степени протекали в белках из белого риса, чем из коричневого. Структурные изменения в гидролизатах сопровождались положительной корреляцией между ПОС и количеством S–S связей (Таблица 8).

Таблица 8. **Корреляционная взаимосвязь между ПОС и содержанием S–S-связей, мкмоль/г**
Table 8. **Correlation between the foaming ability and the content of S–S bonds, μmol/g**

№ п/п	Концентраты	ПОС, %	SH- группы	S–S-связи
	Белый рис			
1	БК	90,0	763,2	262,1
2	ГБК	280,0	577,3	813,4
	Коричневый рис			
3	БК	15,6	773,9	167,4
4	ГБК	55,0	721,5	454,5
Коэффициент корреляции, r			– 0,80	+ 0,80

Агрегирующая способность белков. Одним их важнейших свойств зерновых белков является способность их к агрегации [29,38] (Рисунок 8) с участием гидрофобных связей. Значения констант агрегации белков из коричневого риса во много раз были выше, чем у белков БК из белого риса (Таблица 9). Эта закономерность характерна как для негидролизованных БК, так и для ГБК: у БК константа начального этапа агрегации ($K \times 10^4$) была выше в 67 раз, константа конечного этапа ($\tau_{10/C}$) — в 3 раза, а у ГБК — больше в 167 и 10 раз соответственно. Можно вновь подтвердить участие гидрофобных бензольных ядер и сложноэфирных группировок флавоноидов в структуре белков концентратов из коричневого риса и в различиях ФТС.

Чем выше агрегирующая способность белков, то есть чем сильнее гидрофобные свойства поверхности, тем ПОС ниже. На это указывали высокие коэффициенты обратной корреляции между константами начального (K x 10^4), конечного ($\tau_{10/C}$) этапов агрегации и свойствами образовывать пену (r = — 1,0 и — 0,8) (Таблица 9). Константы агрегации значительно ниже у ГБК. Следовательно, гидролиз белков приводил к уменьшению гидрофобных свойств и к повышению доступности гидрофильных групп (–OH, —SH, —NH2, —COOH и др.) для взаимодействия с водой. Возможно, что в процессе гидролиза рисовых белков флавоноиды частично или полностью высвобождались из структуры белковых глобул и оказывали влияние на ФТС и перевариваемость [45].

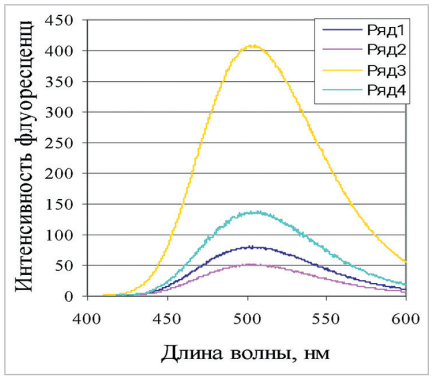
Таблица 9. **Константы агрегации белков рисовых концентратов**
Table 9. **Aggregation constants of proteins of rice concentrates**

Белковые концентраты	Константы агрегации:		ПОС,%
	$K \times 10^4$	($\tau_{10/C}$)	
	Белый рис:		
БК	1,40 ± 0,05	1,85 ± 0,05	90 ± 1,0
ГБК	0,03 ± 0,01	0,20 ± 0,01	280 ± 1,5
	Коричневый рис:		
БК	94,60 ± 0,50	5,60 ± 0,05	16,0 ± 0,5
ГБК	5,07 ± 0,05	1,95 ± 0,01	55,1 ± 1,0
Коэффициент корреляции с ПОС, *r*	– 1,0	– 0,80	

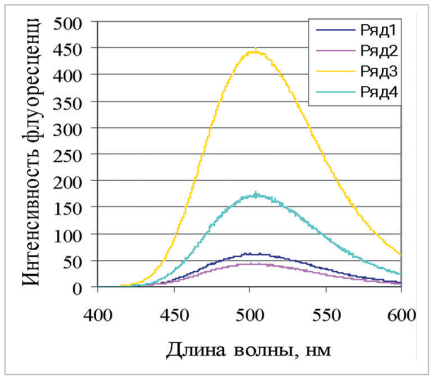
4. Заключение

Выявлены особенности физико-химических свойств и структуры белков концентратов из белого и коричневого риса, установлено присутствие в них флавоноидов, определены отличия в степени протеолиза и взаимосвязь ФТС белков со свойствами и структурой:

- гель-фильтрацией на сефадексе G-150 установлено, что белковые компоненты из белого риса имели меньшую ММ — от 1,3 до 199,5 кДа, в то время как ММ белковых компонентов из коричневого риса составляла от 1,5 до 251,1 кДа. У первого БК большая часть белков представлена низкомолекулярными фракциями (11,7–27,5 кДа), у второго БК — высокомолекулярной фракцией (182–251,1 кДа). В процессе гидролиза БК ММ белков белого риса понижались с 199,5 до 120,2 кДа с образованием пептидов с ММ < 1,3 кДа, ММ белков коричневого риса не изменялись, что указывало на меньшую степень их протеолиза;
- методом КД установлено, что белки в составе БК и ГБК риса находились во взаимодействии с флавоноидами: у белого риса — с тремя относительно низкомолекулярными фракциями (ММ 131, 10, 4 кДа), у коричневого — с высокомолекулярной фракцией (ММ 216 кДа). БК из белого риса содержали в 2,3 раза меньше флавоноидов, чем БК из коричневого риса;
- методом ИК-спектроскопии показано, что белки БК из коричневого риса обладали более высоким содержанием -CH2 групп, присущих семейству флавоноидов, а также имели более высокую область ненасыщенности бензольных ядер, кетонных соединений и сложноэфирных группировок в сравнении с белковыми компонентами из белого риса. Это объясняет большую степень взаимодействия красящих веществ с полипептидами;
- БК содержали элементы вторичной структуры белков: α-спираль, 3_{10}-спираль, β-структуру, β-изгибы, неупорядоченную форму. После протеолиза белков эндопротеазным ФП уменьшилось количество α-спиралей, но увеличилась β-структура и повысилось количество нерегулярных участков, ослабились гидрофобные



А



В

Рисунок 7. **Спектры флуоресценции концентратов из белого риса: А — нативный БК; Б — гидролизованный БК; ряд 1 — с ДМСО; ряд 2 — с ДДС–Na; ряд 3 — с меркаптоэтанолом; ряд 4 — контроль (меркаптоэтанол)**
Figure 9. **Fluorescence spectra of concentrates from white rice: A — native PC; Б — hydrolyzed PC; ряд 1 — with DMSO; ряд 2 — with SDS; ряд 3 — with mercaptoethanol; ряд 4 — control (mercaptoethanol)**

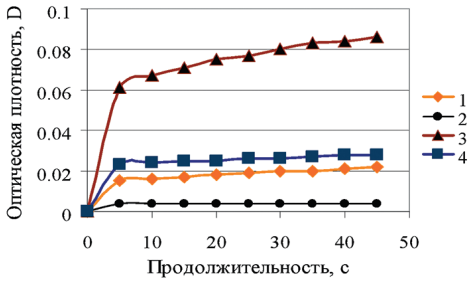


Рисунок 8. **Кривые агрегации белков. Белый рис: 1 — БК; 2 — ГБК; коричневый рис: 3 — БК; 4 — ГБК**
Figure 10. **Curves of protein aggregation. White rice:: 1 — PC; 2 — hydrolyzed PC; brown rice: 3 — PC; 4 –hydrolyzed PC**

свойства, увеличилось содержание S–S-связей. Степень изменения структуры белков у ГБК из коричневого риса была меньше, чем у белков ГБК из белого риса;

- выявлена отрицательная корреляция ПОС БК с верхними границами значений ММ (r = –0,95), с количеством высокомолекулярных фракций (r = –0,80) и с константами агрегации (r = –0,8–1,0); положительная — с количеством S–S-связей (r = + 0,8). Высокая ПОС была обусловлена белками с ММ не более 120 кДа.

Результаты предназначены для регулирования ФТС свойств БК с учетом особенностей физико-химических свойств и структуры белков рисового и/или другого вида зернового сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Amanullah, Fahad, S. (2017). Rice — Technology and Production. InTech. Croatian, 2017. https://doi.org/10.5772/64480
2. Anugrahati, N. A., Pranoto, Y., Marsono, Y., Marseno D. W. (2017). Physicochemical properties of rice (*Oryza sativa L.*) flour and starch of two Indonesian rice varieties differing in amylose content. *International Food Research Journal*, 24(1), 108–113.
3. WHO. (2021). Production of Rice, paddy: Top 10 producers 2019. Retrieved from http://www.fao.org/faostat/en#data/QCL/visualize. Accessed September 24, 2022.
4. Arije, O. O., Adewumi, B. A., Olayanju, T. M. A., Adetifa, B. O. (2019). A comparative study of physical properties of selected rice varieties in Nigeria. *Foods and Raw Materials*, 7(1), 4–9. https://doi.org/10.21603/2308–4057–2019–1–4–9
5. Chen, L. Y., Miao, Y., Sato, S., Zhang, H. (2008). Near infrared spectroscopy for determination of the protein composition of rice flour. *Food Science and Technology Research,* 14(2), 132–138. https://doi.org/10.3136/fstr.14.132
6. Касымова, М. К., Айтбаева, А. Ж., Орымбетова, Г. Э., Мамаева, Л. А. (2016). Возможность использования рисовой муки при технологии маффин. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 12(7), 1282–1286.
7. Odenigbo, A. M., Ngadi, M., Manful, J., Danbaba, N. (2013). Starch fraction profiles of milled, nonparboiled rice varieties from Nigeria. *International Journal of Food Sciences and Technology*, 48(12), 2535–2540. https://doi.org/10.1111/ijfs.12246
8. Asante, M. D. (2017). Breeding Rice for Improved Grain Quality. Chapter in a book: Advances in International Rice Research. London: InTechopen, 2017. https://doi.org/10.5772/66684
9. Bao, J. (2019). Rice: Chemistry and Technology. Eagan, Minnesota: Woodhead and AACC International Press, 2019.
10. Jayaprakash, G., Bains, A., Chawla, P, Fogarasi, M. Fogarasi, S. (2022). A narrative review on rice proteins: Current scenario and food industrial application. *Polymers*, 14(15), Article 3003. https://doi.org/10.3390/polym1415300
11. Hoogenkamp, H., Kumagai, H., Wanasundara, J. P. D. (2017). Rice Protein and Rice Protein Products. Chapter in a book: Sustainable Protein Sources. Academic Press, 2017. https://doi.org/10.1016/B978–0–12–802778–3.00003–2
12. Зеленский, Г. Л. (2016). Рис: Биологические основы селекции и агротехники. Краснодар: КубГАУ, 2016.
13. Зеленская, О. В., Зеленский, Г. Л., Остапенко, Н. В., Туманьян, Н. Г. (2018). Генетические ресурсы риса (*Oryza sativa* L.) с окрашенным перикарпом зерна. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 22(3), 296–303. https://doi.org/10.18699/VJ18.363
14. Pantoa, T., Baricevic-Jones, I., Suwannaporn, P., Kadowaki, M., Kubota, M., Roytrakul, S. et al. (2020). Young rice protein as a new source of low allergenic plant-base protein. *Journal of Cereal Science*, 93(24), Article 102970. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102970
15. Wongthaweewatana, I., Srinophakun, T. R., Saramala, I., Kasemwong, K. (2021). Production of milk analogues from rice bran protein hydrolysate using the subcritical water technique. *Food Science and Technology*, 41(3), 722–729. https://doi.org/10.1590/fst.16520
16. Rathna Priya, T. S., Eliazer Nelson, A. R. L., Ravichandran, K., Usha, A. (2019). Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: A review. *Journal of Ethnic Foods*, 6, Article 11. https://doi.org/10.1186/s42779–019–0017–3
17. Sumczynsk, D., Kotásková, E., Druzˇbíková, H., Mlcˇek, J. (2016). Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolics compounds and *in vitro* digestibility of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Food Chemistry*, 211, 339–346. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.081
18. Shao, Y., Hu, Z., Yu, Y., Mou, R., Zhu, Z., Beta, T. (2018). Phenolic acids, anthocyanins, proanthocyanidins, antioxidant activity, minerals and their correlations in non-pigmented, red, and black rice. *Food Chemistry*, 239, 733–741. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.009
19. Singh, N. K., Rani, M., Sharmila, R. T., Yadav, A. K. (2017). Flavonoids in rice, their role in health benefits. *MOJ Food Processing Technology,* 4(3), 96–99. https://doi.org/10.15406/mojfpt.2017.04.00095
20. Huang, Y. P., Lai, H. M. (2016). Bioactive compounds and antioxidative activity of colored rice bran. *Journal of Food and Drug Analysis,* 24, 564–574. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.01.004
21. Chen, M. H., McClung, A. M., Bergman, C. J. (2017). Phenolic content, anthocyanins and antiradical capacity of diverse purple bran rice genotypes as compared to other bran colors. *Journal Cereal Science*, 77, 110–119. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.07.010
22. Pal, P., Singh, N., Kaur, P., Kaur, A., Virdi, A. S., Parmar, N. (2016). Comparison of composition, protein, pasting, and phenolic compounds of brown rice and germinated brown rice from different cultivars. *Cereal Chemistry,* 93(6), 584–592. https://doi.org/10.1094/CCHEM-03–16–0066-R
23. Wang, C., Xu, F., Li, D., Zhang, M. (2015). Physico-chemical and structural properties of four rice bran protein fractions based on the multiple solvent extraction method. *Czech Journal of Food Sciences*, 33(3), 283–291. https://doi.org/10.17221/462/2014-CJFS
24. Kolpakova, V. V., Chumikina, L. V., Arabova, L. I., Lukin, D. N., Topunov, A. F., Titov, E. I. (2016). Functional technological properties and electrophoretic composition of modified wheat gluten. *Foods and Raw Materials*, 4(2), 48–57. http://doi.org/10.21179/2308–4057–2016–2–48–57
25. Liang, H., Gu, B., Wang, T., Rong, L., Sun, W., Wu, Z. (2022). Relationship between protein structure and eating quality of rice under different nitrogen application rate. *Cereal Chemistry*, 99(3), 692–703. https://doi.org/10.1002/cche.10530
26. Zhang, X., Wang, L., Chen, Z., Li, Y., Luo, X., Li, Y. (2019). Effect of electron beam irradiation on the structural characteristics and functional properties of rice proteins. *RSC Advances,* 9(24), 13550–13560. https://doi.org/10.1039/C8RA10559F
27. Yao, G., Guo, Y., Cheng, T., Wang, Z., Li, B., Xia, C. et al. (2022). Effect of γ-irradiation on the physicochemical and functional properties of rice protein. *Food Science and Technology (Campinas),* 42, Article e12422. https://doi.org/10.1590/fst.12422
28. Li, T., Wang, L., Chen, Z., Zhang, X., Zhu, Z. (2020). Functional properties and structural changes of rice proteins with anthocyanins complexation. *Food Chemistry*, 331(1), Article 127336. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127336
29. Kolpakova, V. V., Lukin, N. D., Gaivoronskaya, I. S. (2018). Interrelation of functional properties of protein products from wheat with the composition and physicochemical characteristics of their proteins. Chapter in a book: Global Wheat Production. London: InTechopen, 2018. http://doi.org/10.5772/intechopen.75803
30. Колпакова, В. В., Чумикина, Л. В., Фан, Ч. К., Арабова, Л. И., Шевякова, Л. В., Бессонов, В. В. (2016). К вопросу об эффективности различных способов ферментативного выделения белковых концентратов из белого и коричневого риса. *Аграрная Россия*, 2, 12–20. http://doi.org/10.30906/1999–5636–2016–2–12–20
31. Брун, Е. (2003). Жидкостная хроматография полимеров: настоящее и будущее. *Российский химический журнал*, 47(1), 90–101.
32. Miles, A. J., Wien, F., Wallace, B. A. (2004). Redetermination of the extinction coefficient of camphor-10-sulfonic acid, a calibration standard for circular dichroism spectroscopy. *Analytical Biochemistry*, 335(2), 338–339. http://doi.org/10.1016/j.ab.2004.08.035
33. Quddus, K. G., Ma, C. Y. (2003). Study of rice glutelin conformation by using circular dichroism (CD) spectroscopy. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6(22), 1917–1920. https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.1917.1920
34. Kelly, S. M., Jess, T. J., Price, N. C. (2005). How to study proteins by circular dichroism. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Proteins and Proteomics,* 1751(2), 119–139. http://doi.org/10.1016/j.bbapap.2005.06.005
35. Шубин, В. В., Хазин, М. Л., Ефимовская, Т. В. (1991). Определение вторичной структуры глобулярных белков с использованием спектров кругового дихроизма. *Молекулярная биология*, 24(1), 189–201.
36. Xie, L. H., Tang, S. Q., Chen, N., Luo, J., Jiao, G. A., Shao, G. N. et al. (2014). Optimisation of near-infrared reflectance model in measuring protein and amylose content of rice flour. *Food Chemistry*, 142(1), 92–100. http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.030
37. Hoff, S., Larsen, F. H., Andersen, M. L., Lund, M. N. (2013). Quantification of proteinthiols using ThioGlo 1 fluorescent derivatives and HPLC separation. *Analyst*, 138(7), 2096–2103. https://doi.org/10.1039/C3AN36672C
38. Arakawa, T., Yonezawa, D. (1976). Composition difference of wheat flour glutens in relation to their aggregation behavior. *Argicultural and Biological Chemistry*, 39(11), 2123–2128. https://doi.org/10.1080/00021369.1975.10861930
39. Гаврилин, М. В., Попова, О. И., Губанова, Е. А. (2010). Фенольные соединения наземной части шалфея мускатного (*Salvia sclarea* L.), культивируемого в Ставропольском крае. *Химия растительного сырья*, 4, 99–104.
40. Халафян, А. А., Боровиков, В. П., Калядина, Г. В. (2022). Теория вероятностей, математическая статистика и анализ данных: Основы теории и практика на компьютере. STATISTICA. EXCEL. Более 150 примеров решения задач. М.: Ленанд, 2022.
41. Смирнова, М. М., Яборова, О. В., Накарякова, Н. И., Люст, Е. Н., Олешко, О.А. (2014). Определение суммы флавоноидов в траве пиона. *Фундаментальные исследования*, 12(1), 164–168.
42. Lighezan, L., Meiri, D., Breiman, A., Neagu, A. (2013). Circular dichroism and the secondary structure of the ROF_2 protein from Arabidopsis thaliana. *Journal of Biological Physics*, 39(4), 635–648. http://doi.org/10.1007/s10867–013–9323-y
43. Kelly, S. M., Price, N. C. (2000). The use of circular dichroism in the investigation of protein structure and function. *Current Protein and Peptide Science*, 1(4), 349–384. http://doi.org/10.2174/1389203003381315
44. Миронов, В. А., Янковский, С. А. (1985). Спектроскопия в органической химии. М.: Химия, 1985.
45. Колпакова, В. В., Лукин, Н. Д., Чумикина, Л. В., Шевякова, Л. В. (2015). Химический состав и функциональные свойства рисовых белковых концентратов. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 4(66), 120–124. http://doi.org/10.20914/2310–1202–2015–4–120–124

REFERENCE

1. Amanullah, Fahad, S. (2017). Rice — Technology and Production. InTech. Croatian, 2017. https://doi.org/10.5772/64480
2. Anugrahati, N. A., Pranoto, Y., Marsono, Y., Marseno D. W. (2017). Physicochemical properties of rice (*Oryza sativa L.*) flour and starch of two Indonesian rice varieties differing in amylose content. *International Food Research Journal*, 24(1), 108–113.
3. WHO. (2021). Production of Rice, paddy: Top 10 producers 2019. Retrieved from http://www.fao.org/faostat/en#data/QCL/visualize. Accessed September 24, 2022
4. Arije, O. O., Adewumi, B. A., Olayanju, T. M. A., Adetifa, B. O. (2019). A comparative study of physical properties of selected rice varieties in Nigeria. *Foods and Raw Materials*, 7(1), 4–9. https://doi.org/10.21603/2308–4057–2019–1–4–9
5. Chen, L. Y., Miao, Y., Sato, S., Zhang, H. (2008). Near infrared spectroscopy for determination of the protein composition of rice flour. *Food Science and Technology Research,* 14(2), 132–138. https://doi.org/10.3136/fstr.14.132
6. Kassymova M. K., Aitbayeva A. Zh., Orymbetova G. E., Mamayeva L. A. (2016). Possibility of use of rice flour in muffin technology. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 12, 1282–1286. (In Russian)
7. Odenigbo, A. M., Ngadi, M., Manful, J., Danbaba, N. (2013). Starch fraction profiles of milled, nonparboiled rice varieties from Nigeria. *International Journal of Food Sciences and Technology*, 48(12), 2535–2540. https://doi.org/10.1111/ijfs.12246
8. Asante, M. D. (2017). Breeding Rice for Improved Grain Quality. Chapter in a book: Advances in International Rice Research, London: InTechopen, 2017. https://doi.org/10.5772/66684
9. Bao, J. (2019). Rice: Chemistry and Technology. Eagan, Minnesota: Woodhead and AACC International Press, 2019.
10. Jayaprakash, G., Bains, A., Chawla, P, Fogarasi, M. Fogarasi, S. (2022). A narrative review on rice proteins: Current scenario and food industrial application. *Polymers,* 14(15), Article 3003. https://doi.org/10.3390/polym1415300
11. Hoogenkamp, H., Kumagai, H., Wanasundara, J. P. D. (2017). Rice Protein and Rice Protein Products. Chapter in a book: Sustainable Protein Sources. Academic Press, 2017. https://doi.org/10.1016/B978–0–12–802778–3.00003–2
12. Zelensky, G. L. (2016). Rice: Biological Principles of Breeding and Farming Practices. Krasnodar: KubSAU, 2016. (In Russian)
13. Zelenskaya, O. V., Zelensky, G. L., Ostapenko, N. V., Tumanyan, N. G. (2018). Genetic resources of rice (*Oryza sativa* L.) with colored grain pericarp. *Vavilovsky Journal of Genetics and Breeding*, 22(3), 296–303. http://doi.org/10.18699/VJ18.363 (In Russian)
14. Pantoa, T., Baricevic-Jones, I., Suwannaporn, P., Kadowaki, M., Kubota, M., Roytrakul, S. et al. (2020). Young rice protein as a new source of low allergenic plant-base protein. *Journal of Cereal Science*, 93(24), Article 102970. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102970
15. Wongthaweewatana, I., Srinophakun, T. R., Saramala, I., Kasemwong, K. (2021). Production of milk analogues from rice bran protein hydrolysate using the subcritical water technique. *Food Science and Technology*, 41(3), 722–729. https://doi.org/10.1590/fst.16520
16. Rathna Priya, T. S., Eliazer Nelson, A. R. L., Ravichandran, K., Usha, A. (2019). Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: A review. *Journal of Ethnic Foods*, 6, Article 11. https://doi.org/10.1186/s42779–019–0017–3
17. Sumczynsk, D., Kotásková, E., Druzˇbíková, H., Mlcˇek, J. (2016). Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolics compounds and *in vitro* digestibility of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Food Chemistry*, 211, 339–346. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.081
18. Shao, Y., Hu, Z., Yu, Y., Mou, R., Zhu, Z., Beta, T. (2018). Phenolic acids, anthocyanins, proanthocyanidins, antioxidant activity, minerals and their correlations in non-pigmented, red, and black rice. *Food Chemistry*, 239, 733–741. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.009
19. Singh, N. K., Rani, M., Sharmila, R. T., Yadav, A. K. (2017). Flavonoids in rice, their role in health benefits. *MOJ Food Processing Technology,* 4(3), 96–99. https://doi.org/10.15406/mojfpt.2017.04.00095
20. Huang, Y. P., Lai, H. M. (2016). Bioactive compounds and antioxidative activity of colored rice bran. *Journal of Food and Drug Analysis,* 24, 564–574. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.01.004
21. Chen, M. H., McClung, A. M., Bergman, C. J. (2017). Phenolic content, anthocyanins and antiradical capacity of diverse purple bran rice genotypes as compared to other bran colors. *Journal Cereal Science*, 77, 110–119. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.07.010
22. Pal, P., Singh, N., Kaur, P., Kaur, A., Virdi, A. S., Parmar, N. (2016). Comparison of composition, protein, pasting, and phenolic compounds of brown rice and germinated brown rice from different cultivars. *Cereal Chemistry,* 93(6), 584–592. https://doi.org/10.1094/CCHEM-03–16–0066-R
23. Wang, C., Xu, F., Li, D., Zhang, M. (2015). Physico-chemical and structural properties of four rice bran protein fractions based on the multiple solvent extraction method. *Czech Journal of Food Sciences*, 33(3), 283–291. https://doi.org/10.17221/462/2014-CJFS
24. Kolpakova, V. V., Chumikina, L. V., Arabova, L. I., Lukin, D. N., Topunov, A. F., Titov, E. I. (2016). Functional technological properties and electrophoretic composition of modified wheat gluten. *Foods and Raw Materials*, 4(2), 48–57. http://doi.org/10.21179/2308–4057–2016–2–48–57
25. Liang, H., Gu, B., Wang, T., Rong, L., Sun, W., Wu, Z. (2022). Relationship between protein structure and eating quality of rice under different nitrogen application rate. *Cereal Chemistry*, 99(3), 692–703. https://doi.org/10.1002/cche.10530
26. Zhang, X., Wang, L., Chen, Z., Li, Y., Luo, X., Li, Y. (2019). Effect of electron beam irradiation on the structural characteristics and functional properties of rice proteins. *RSC Advances*, 9(24), 13550–13560. https://doi.org/10.1039/C8RA10559F
27. Yao, G., Guo, Y., Cheng, T., Wang, Z., Li, B., Xia, C. et al. (2022). Effect of γ-irradiation on the physicochemical and functional properties of rice protein. *Food Science and Technology (Campinas),* 42, Article e12422. https://doi.org/10.1590/fst.12422
28. Li, T., Wang, L., Chen, Z., Zhang, X., Zhu, Z. (2020). Functional properties and structural changes of rice proteins with anthocyanins complexation. *Food Chemistry*, 331(1), Article 127336. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127336
29. Kolpakova, V. V., Lukin, N. D., Gaivoronskaya, I. S. (2018). Interrelation of functional properties of protein products from wheat with the composition and physicochemical characteristics of their proteins. Chapter in a book: Global Wheat Production. London: InTechopen http://doi.org/10.5772/intechopen.75803
30. Kolpakova, V. V., Chumikina, L. V., Fan, K. Ch., Arabova, L. I., Shevyakova, L.V., Bessonov, V. V. (2016). To the question about the effectiveness of various methods of enzymatic isolation of protein concentrates from white and brown rice. *Agrarian Russia*, 2, 12–20. http://doi.org/10.30906/1999–5636–2016–2–12–20 (In Russian)
31. Brun, E. (2003). Liquid chromatography of polymers: the present and the future. *Russian Chemical Journal*, 47(1), 90–101. (In Russian)
32. Miles, A. J., Wien, F., Wallace, B. A. (2004). Redetermination of the extinction coefficient of camphor-10-sulfonic acid, a calibration standard for circular dichroism spectroscopy. *Analytical Biochemistry*, 335(2), 338–339. http://doi.org/10.1016/j.ab.2004.08.035
33. Quddus, K. G., Ma, C. Y. (2003). Study of rice glutelin conformation by using circular dichroism (CD) spectroscopy. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6(22), 1917–1920. https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.1917.1920
34. Kelly, S. M., Jess, T. J., Price, N. C. (2005). How to study proteins by circular dichroism. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Proteins and Proteomics*, 1751(2), 119–139. http://doi.org/10.1016/j.bbapap.2005.06.005
35. Shubin, V. V., Khazin, M. L., Efimovskaya, T. V. (1991). Determination of the secondary structure of globular proteins from circular dichroism spectra. *Molecular Biology*, 24(1), 189–201. (In Russian)
36. Xie, L. H., Tang, S. Q., Chen, N., Luo, J., Jiao, G. A., Shao, G. N. et al. (2014). Optimisation of near-infrared reflectance model in measuring protein and amylose content of rice flour. *Food Chemistry*, 142(1), 92–100. http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.030
37. Hoff, S., Larsen, F. H., Andersen, M. L., Lund, M. N. (2013). Quantification of proteinthiols using ThioGlo 1 fluorescent derivatives and HPLC separation. *Analyst*, 138(7), 2096–2103. https://doi.org/10.1039/C3AN36672C
38. Arakawa, T., Yonezawa, D. (1976). Composition difference of wheat flour glutens in relation to their aggregation behavior. *Argicultural and Biological Chemistry*, 39(11), 2123–2128. https://doi.org/10.1080/00021369.1975.10861930
39. Gavrilin, M. V., Popova, O. I., Gubanova, E. A. (2010). Phenolic compounds of the aerial part of clary sage *(Salvia sclarea* L.) cultivated in the Stavropol Territory. *Chemistry of Plant Raw Material*, 4, 99–104. (In Russian)
40. Khalafyan, A. A., Borovikov, V. P., Kalaydina, G. V. (2022). Probability theory, mathematical statistics and data analysis: fundamentals of the theory and practice on the computer. STATISTICA. EXCEL. More than 150 examples of problem solving. Moscow: Lenand, 2022. (In Russian)
41. Smirnova, M. M., Yaborova, O. V., Nakaryakova, N. I., Lust, E. N., Oleshko, O. A. (2014). Determination of total flavonoids in the grass of the pion. *Basic Research,* 12(1), 164–168. (In Russian)
42. Lighezan, L., Meiri, D., Breiman, A., Neagu, A. (2013). Circular dichroism and the secondary structure of the ROF_2 protein from Arabidopsis thaliana. *Journal of Biological Physics*, 39(4), 635–648. http://doi.org/10.1007/s10867–013–9323-y
43. Kelly, S. M., Price, N. C. (2000). The use of circular dichroism in the investigation of protein structure and function. *Current Protein and Peptide Science*, 1(4), 349–384. http://doi.org/10.2174/1389203003381315
44. Mironov, V. A., Yankovsky, S. A. (1985). Spectroscopy in organic chemistry. Moscow: Chemistry, 1985. (In Russian)
45. Kolpakova, V. V., Lukin, D. N., Chumikina, L. V., Shevyakova, L. V. (2015). Chemical composition and functional properties of rice protein concentrates. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 4(66), 120–124. http://doi.org/10.20914/2310–1202–2015–4–120–124 (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Колпакова Валентина Васильевна — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий отделом биотехнологии комплексной переработки крахмалсодержащего сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья — филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха 140051, Московская область, Люберцы, п. Красково, ул. Некрасова, 11 Тел.: + 7–495–557–15–00 E-mail: vniik@arrisp.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–7288–8569 * автор для контактов	**Valentina V. Kolpakova**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of the Department of Biotechnology for the Complex Processing of Starch-Containing Raw Materials, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing — Branch of Russian Potato Research Centre 11, Nekrasova Str., 140051, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russia Tel.: + 7–495–557–15–00 E-mail: vniik@arrisp.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–7288–8569 * corresponding author
Фан Куинь Чам — кандидат технических наук, преподаватель, Фу Йен университет, Фу Йен провинция, Вьетнам. 620000, 01 Нгуен Ван Хьюен, округ 9, г. Туй Хоа, — провинция Фу Йен, Вьетнам Тел.: +84–57–384–3025 E-mail: quynhtram221@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0009–0008–6870–5839	**Quynh Ch. Fan**, Candidate of Technical Sciences, Lecturer, Phu Yen University, Phu Yen province, Viet Nam. 620000, 01 Nguyen Van Huyen, Ward 9, Tuy Hoa City, Phu Yen Province, Viet Nam Tel.: +84–57–384–3025 E-mail: quynhtram221@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0009–0008–6870–5839
Гайворонская Ирина Сергеевна — младший научный сотрудник отдела биотехнологии комплексной переработки крахмалсодержащего сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья — филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха 140051, Московская область, п. Красково, ул. Некрасова, 11 Тел.: + 7–495–557–15–00 E-mail: vniik@arrisp.ru ORCID: http://orcid.org/0000–0002–4036–1316	**Irina S. Gaivoronskaya**, Junior Researcher, Department of Biotechnology for Complex Processing of Starch-Containing Raw Materials, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing — Branch of Russian Potato Research Centre. 11, Nekrasova Str., 140051, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russia Tel.: + 7–495–557–15–00 E-mail: vniik@arrisp.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–4036–1316
Чумикина Людмила Васильевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биохимии им. А. Н. Баха, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук 119071, Москва, Ленинский проспект, 33 Тел.: + 7–926–355–39–29 E-mail: chumikina@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000–0001–8414–5212	**Lyudmila V. Chumikina**, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, A. N. Bach Institute of Biochemistry, Federal Research Center «Fundamental Foundations of Biotechnology», of Russian Academy of Sciences 33, Leninsky Ave, 119071, Moscow, Russia Тел.: + 7-(926–355–39–29 E-mail: chumikina@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000–0001–8414–5212
Критерии авторства	**Contribution**
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-329-336

Поступила 14.04.2023
Поступила после рецензирования 14.08.2023
Принята в печать 21.08.2023
© Севостьянова Е. М., Ганин М. Ю., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД НАГУТСКОГО И ЕССЕНТУКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЛЕЧЕБНО-СТОЛОВЫХ ВОД «НАГУТСКАЯ-4» И «ЕССЕНТУКИ № 4»

Севостьянова Е. М.*, Ганин М. Ю.

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
минеральная вода, идентификационные показатели, изотопные характеристики, солевой состав, бальнеологические компоненты, микрокомпоненты

АННОТАЦИЯ

В настоящее время Россия занимает лидирующее место в мире по запасам минеральных вод и производству на их основе упакованных минеральных питьевых вод. Идентификация пищевых продуктов является одной из современных проблем человечества, что в полной мере относится к упакованной минеральной воде. В статье рассматривается актуальность разработки методологических подходов к выбору идентификационных показателей упакованных минеральных вод. Упакованные минеральные воды не только признаны пищевым продуктом, но и являются ценным природным бальнеотерапевтическим ресурсом, оказывающим на организм человека лечебно-профилактическое действие. В связи с этим важнейшей задачей является разработка научно обоснованных принципов и алгоритмов определения места происхождения и подлинности упакованных минеральных вод. В настоящее время область традиционно нормируемых показателей качества и безопасности минеральных вод не предполагает возможности однозначной идентификации продукции по географическому, природному и другим признакам. Целью настоящего исследования было изучение физико-химических показателей и изотопных характеристик минеральной воды «Нагутская-4» с целью разработки комплекса идентификационных показателей. Качество воды и соответствие установленным нормативам оценивали по органолептическим (прозрачность, цвет, вкус и запах) и физико-химическим показателям (основной состав, минерализация, биологически активные компоненты, микрокомпоненты). Аналитические исследования изотопных характеристик воды проводились на изотопном масс-спектрометре Delta V Advantage с модульной приставкой GasBench II. Предложен перечень показателей для идентификации минеральной воды «Нагутская-4», в который дополнительно к основным показателям включены фториды и токсичные металлы (литий, стронций, барий), а также биологически активные компоненты (йод и бром), которые являются характерными для данной группы вод. Проведена сравнительная оценка идентификационных показателей минеральных лечебно-столовых вод «Нагутская-4» и «Ессентуки № 4», так как именно из скважины Нагутского месторождения в недавнем прошлом продавалась упакованная вода под брендом «Ессентуки № 4», которая показала статистические различия как в основных идентификационных показателях (основной состав, минерализация, биологически активные компоненты), так и в дополнительных (микрокомпоненты и изотопные характеристики).

ФИНАНСИРОВАНИЕ: работа выполнена в рамках выполнения исследований по государственному заданию FGUS-2022–0004 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН.

Received 14.04.2023
Accepted in revised 14.08.2023
Accepted for publication 21.08.2023
© Sevostianova E. M., Ganin M. Yu., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

COMPARATIVE ASSESSMENT OF IDENTIFICATION INDICATORS OF THE MINERAL WATERS OF THE NAGUTSKY AND ESSENTUKSKY DEPOSITS BY THE EXAMPLE OF MEDICAL AND TABLE WATERS “NAGUTSKAYA-4” AND “ESSENTUKI NO. 4”

Elena M. Sevostyanova*, Mikhail Yu. Ganin

All-Russian Research Institute of Brewing, Non-Alcoholic and Wine-making Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:
mineral water, identification indicators, isotopic characteristics, salt composition, balneological components, microcomponents

ABSTRACT

Currently, Russia occupies a leading position in the world in terms of mineral water reserves and the production of packaged mineral drinking water based on them. Identification of food products is one of the modern problems of mankind, which fully applies to packaged mineral water. The article discusses the relevance of developing methodological approaches to the choice of identification indicators of packaged mineral waters. Packaged mineral waters are not only recognized as a food product, but also are a valuable natural balneotherapeutic resource that has a therapeutic and prophylactic effect on the human body. In this regard, the most important task is to develop scientifically based principles and algorithms for determining the geographical origin and authenticity of packaged mineral waters. Currently, the area of traditionally normed indicators of the quality and safety of mineral waters does not imply the possibility of unambiguous identification of products by geographical, natural, and other characteristics. The purpose of this study was to investigate the physicochemical parameters and isotopic characteristics of the mineral water “Nagutskaya — 4” to develop a set of identification indicators. Water quality and compliance with established standards were assessed by organoleptic (transparency, color, taste and smell) and physicochemical (basic composition, mineralization, biologically active components, microcomponents) parameters. Analytical studies of the isotopic characteristics of water were carried out on a Delta V Advantage isotope mass spectrometer with a GasBench II modular set-top box. A list of indicators for the identification of mineral water “Nagutskaya — 4” is proposed, in which, in addition to

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Севостьянова, Е. М., Ганин, М. Ю.** (2023). Сравнительная оценка идентификационных показателей минеральных вод Нагутского и Ессентукского месторождений на примере лечебно-столовых вод «Нагутская-4» и «Ессентуки № 4». *Пищевые системы*, 6(3), 329-336. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-329-336

FOR CITATION: **Sevostianova, E. M., Ganin, M. Yu.** (2023). Comparative assessment of identification indicators of the mineral waters of the Nagutsky and Essentuksky deposits by the example of medical and table waters “Nagutskaya-4” and “Essentuki no. 4. *Food Systems,* 6(3), 329-336. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-329-336

the main indicators, it is recommended to include fluorides, toxic metals (lithium, strontium, barium) and biologically active components (iodine and bromine), which are typical for this group of waters. It was from the well of the Nagutskoye deposit that packaged water was sold under the brand name "Essentuki No. 4" in the recent past. Therefore, a comparative assessment of the identification indicators of the mineral medicinal table waters "Nagutskaya-4" and "Essentuki No. 4" was carried out. The results of the assessment showed statistical differences both in the main identification indicators (basic composition, mineralization, biologically active components) and in additional ones (trace components and isotopic characteristics).

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS-2022–0004 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Для реализации Постановления Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации «О национальной системе защиты прав потребителей» и принятия необходимых мер по противодействию незаконному обороту упакованной питьевой воды необходима четкая система идентификации минеральных вод с установлением научно обоснованных критериев, принципов и алгоритмов идентификации. Важной проблемой выявления фальсифицированных минеральных вод является установление ее географического происхождения, так как одним из способов фальсификации упакованных минеральных вод является незаконное использование известных брендов, недостоверное указание источника (наименование месторождения минеральной воды, номера скважины и т. д.). Особенно это касается известных брендов с ограниченным дебитом скважин, когда спрос превышает предложение [1].

В обзоре президента Международной ассоциации «Антиконтрафакт» описана ситуация, связанная с обнаружением подделок и контрафактных товаров, и представлены меры, которые могут повлиять на ухудшающееся положение на рынке. Одной из таких мер является создание в Российской Федерации системы прослеживания путем маркировки легальных товаров [2].

Разработаны различные методы идентификации природных минеральных вод:

- по содержанию основных макрокомпонентов основного состава (натрий, кальций, магний, хлориды, сульфаты и гидрокарбонаты) и по уровню pH среды. Оценка результатов проводилась по соответствию полученных результатов и сведений, указанных в маркировке [3];
- по результатам элементного анализа с применением метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) и по соотношению концентраций Li/U, Mn/Ge, Li/Mo, Li/Sr, B/Ba, Rb/Th [4], а также по соотношению концентраций редкоземельных элементов (La/Y, Ce/La, Ce/Y, La/Lu La/Er, Nd/Yb, Ce/Eu, Ce/Nd, Gd/Lu, Dy/Er, Sm/Lu, Pr/Tb, Ho/Tb) и стабильных изотопов свинца [4];
- по коэффициенту разбавления. Методом прямой кондуктометрии определяют удельную электрическую проводимость (УЭП) разбавленной в n раз минеральной воды и рассчитывают коэффициент идентификации химического состава воды как тангенс угла наклона зависимости обратной УЭП от степени разбавления, который имеет строго определенное значение для данного минерального состава водного раствора [5];
- по цветометрии индикаторных бумаг. Предложено тест-устройство на основе целлюлозной бумаги для идентификации и классификации природных минеральных вод Владимирской области, содержащее индикаторные зоны для определения общей жесткости, щелочности и pH воды, а также концентраций хлоридов и сульфатов. Цветометрические параметры индикаторных зон тест-устройства после контакта с исследуемой водой определяли с помощью смартфона. В качестве аналитического сигнала использовали значения цветометрических параметров каждой индикаторной зоны в системе RGB [6];
- с использованием вольтамперометрического «электронного языка». В работе представлены результаты исследования вольтамперометрического поведения ароматических нитросоединений в системе трубчатых электродов. Продемонстрированы принципиальные подходы к идентификации многокомпонентных растворов электролитов с применением вольтамперометрического «электронного языка». Проведена идентификация минеральных вод методом PLS-DA [7];
- по специфическим компонентам. Разработан метод оперативного контроля качества и идентификации упакованных минеральных питьевых вод, основанный на химико-аналитическом определении в них содержания специфичных для условий их формирования компонентов и на их сравнительном анализе с характерным природным их содержанием. Указанные идентификационные компоненты должны соответствовать следующим критериям: стабильное во времени, а также не зависящее от установленных способов розлива минеральных вод их содержание; сравнительная простота в аналитическом определении; малая вероятность того, что данный компонент может быть внесен в воду при ее фальсификации; отсутствие специального регламентирования данных компонентов и их содержания в нормативно-технической документации на воду; возможность разграничения минеральных вод, близких по своему основному химическому составу [8].

Вместе с тем практически все предлагаемые методы идентификации основаны на контроле специфических компонентов минеральных вод, которые и являются их идентификационными показателями. Существующие в настоящее время идентификационные показатели минеральных вод не обеспечивают однозначной идентификации продукции, что обосновывает необходимость расширения области оценочных критериев, создания базы эталонных образцов и разработки идентификационных показателей для всех видов упакованной питьевой воды, включая природную минеральную воду.

В работе [9] предложены идентификационные показатели минеральной воды «Ессентуки № 4», в которые дополнительно включены характерные для данной группы вод фториды, токсичные металлы (литий, стронций, барий) и биологически активные компоненты (йод и бром).

Данная работа посвящена сравнительной оценке идентификационных показателей минеральных вод «Нагутская-4» и «Ессентуки № 4».

Среди наиболее известных регионов, где осуществляется добыча и розлив минеральных вод, стоит выделить Кавказские Минеральные Воды (КМВ) в Ставропольском крае. В регионе присутствует большое количество вод из реестра НМПТ (наименования места происхождения товара), которые известны потребителю с середины XX века. По физико-химическим свойствам воды минеральных источников региона КМВ делят на 16 типов (это почти все типы вод, известных мировой науке и курортной практике). Содержание минеральных солей большей части минеральных источников колеблется в пределах 2–15 г/л. Подобная концентрация является оптимальной для бальнеолечения. Некоторые минеральные воды, такие как «Ессентуки № 17» и «Ессентуки № 4», горячие кальциевые воды типа «Славяновской» и «Смирновской», горькие воды источника Баталинский, по праву можно назвать классическими. Они служат эталонами для оценки качества гидроминеральных ресурсов по всей стране [10]. Ввиду известности именно эти виды вод чаще всего являются предметом фальсификации со стороны недобросовестных производителей.

Курортный регион Кавказские Минеральные Воды (далее — КМВ) расположен в территориальных границах Кавминводского артезианского бассейна — уникального природного месторождения минеральных вод и характеризуется очень сложными условиями формирования газового, ионно-солевого, микро-компонентного состава подземных минеральных вод. Формирование и распространение на территории КМВ различных типов минеральных вод, таких как углекислые, сульфидные, бромные, йодные и радоновые, обусловлены геологией и тектоникой района, интенсивностью и характером проявления поствулканических процессов, особенностями геоморфологии. Основным фактором, оказывающим влияние на формирование месторождений минеральных вод КМВ, является региональный термометаморфизм [11].

На территории КМВ (Ставропольский край, Карачаево-Черкесская и Кабардино-Балкарская Республики) добываются уникальные минеральные подземные воды, имеющие международное распространение: «Ессентуки № 4», «Ессентуки № 17», «Нарзан», «Славяновская», «Смирновская» и др. Основными эксплуатируемыми водоносными горизонтами являются дат-зеландский, сеноман-маастрихтский (верхнемеловой), апт-нижнеальбский, титон-валанжинский, к которым приурочены месторождения минеральных подземных вод [12]. На территории КМВ по состоянию на 01.01.2022 г. разведано 45 месторождений (участков) минеральных подземных вод, запасы по ним оценены в количестве 16,39 тыс. м^3/сут, в эксплуатации находятся 37. Суммарная добыча подземных вод составила 2,98 тыс. м^3/сут. Целевое

использование минеральных вод в пределах региона КМВ составило 2,98 тыс. м³/сут (100% от добычи), в том числе для промышленного розлива — 1,64 тыс. м³/сут (55% от целевого использования) [13].

Циркулирующие в пределах КМВ минеральные воды обладают различной минерализацией, температурой, химическим и газовым составом. Такое многообразие подземных вод обусловлено сочетанием рельефа, геологических и гидрогеологических условий КМВ. По результатам мониторинга подземных минеральных вод в пределах основных месторождений КМВ наблюдается в основном установившийся гидродинамический режим; истощения и деградации водной составляющей питания месторождений минеральных вод не отмечается. На отдельных скважинах Кисловодского, Ессентукского и Пятигорского месторождений качество минеральных подземных вод вышло за пределы установленных кондиций. Изменение качества подземных вод обусловлено комплексом природных и техногенных факторов, основными из которых являются неудовлетворительное техническое состояние стволов эксплуатационных скважин и в отдельных случаях возможное превышение установленных лицензией дебитов [14].

Большинство подземных минеральных вод региона КМВ содержат в своем составе такие радиоактивные элементы, как уран, радий, радон, торий и другие. Основным фактором формирования радионуклидного состава подземных вод региона КМВ является выщелачивание пород палеозойского фундамента, гранитной дресвы и интрузивных тел лакколитов. Для большинства минеральных вод региона КМВ суммарная альфа-радиоактивность не превышает 0,2 Бк/кг или несколько выше этого значения. Превышение суммарной бета-активности отмечается только в минеральных водах Железноводского месторождения. Основной вклад в суммарную радиоактивность вносят изотопы радия [15].

Подземные минеральные воды района КМВ по изотопному составу серы водорастворенных сульфатов и сульфидов весьма неоднородны и отражают особенности литологического состава водовмещающих пород и геолого-гидрогеохимических процессов, участвующих в процессе формирования этих вод [16]. Даже небольшие концентрации рассеянного органического вещества (не более 0,8%), содержащиеся в водовмещающих породах, способны инициировать процесс биогенной сульфатредукции, обеспечивающей формирование месторождений углекисло-сероводородных вод и бессульфатных вод типа «Ессентуки 4» и «17». Такие минеральные воды присутствуют в верхнемеловом водоносном комплексе на Пятигорском, Ессентукском и Нагутском месторождениях [17].

Одним из стратегически значимых месторождений для развития КМВ является Нагутское месторождение подземных минеральных вод. Оно расположено в северной части района КМВ (в 30 км от г. Ессентуки) и входит в Нагутский гидрогеологический район, который имеет существенную особенность — наличие крупной газовой залежи углекисло-метанового состава в основании нижнемелового базального горизонта конгломератов. Возраст вод Нагутского района, согласно изотопным исследованиям, превышает 1000 лет. К Нагутскому месторождению отнесены шесть участков недр с запасами минеральных вод. Эти участки совпадают с границами ЗСО, где расположены водозаборные скважины 9-бис, 26-н, 43, 47, 49 и 56-э [18].

Гидрогеологические условия района определяются совокупностью геолого-структурных особенностей осадочного чехла и широким распространением разрывных нарушений и неоинтрузий. Состав минеральных вод формируется под влиянием процессов выщелачивания вмещающих пород, катионного обмена и смешения. Активность данного процесса наиболее высока в верхних частях разреза, так как глубинные газонасыщенные воды поступают по разломам фундамента ближе к поверхности. Именно здесь, смешиваясь и оттесняя менее минерализированные потоки, формируется окончательный химический и температурный облик восходящих вод. С различными типами углекислых минеральных вод, особенно высокоценных питьевых, широко связаны гидроинжекционные гидрогеологические структуры. Эти структуры приурочены к нижнемеловым, верхнемеловым и нижнеплиоценовым отложениям. В числе таких вод можно выделить «Боржоми», «Ессентуки-4» и «Ессентуки-17» [19].

Сравнительный анализ воды маастрихского горизонта верхнего мела Нагутского месторождения с водами Ессентукского месторождения показал, что вода из этого водоносного комплекса на уровне солевого состава является практически полным аналогом (по всем макро- и большинству микрокомпонентов) воды типа «Ессентуки». Отличия этой воды от «Ессентуков» заключаются только в более высоких концентрациях Sr, Ge, K, Rb и Cs, которые могут быть унаследованы от вод аптальбского водоносного комплекса. Эти различия могут быть использованы для идентификации в торговых сетях происхождения бутилированных вод типа «Ессентуки», добываемых из скважин Нагутского месторождения [20].

В работе [21] проведен сравнительный анализ результатов информационных расчетов, показывающий некоторую схожесть условий формирования минеральных подземных вод хлоридно-гидрокарбонатного состава в границах Ессентукского и Нагутского месторождений, при этом выделен ряд отличий в условиях поступления и накопления углекислоты, а также влияния гидрогеологических и геотермических условий на формирование вод хлоридно-гидрокарбонатного состава. Кроме того, концентрации метакремниевой кислоты, сульфатов и железа могут также различаться). Существенным отличием минеральных вод этого района является и термальность в довольно большом диапазоне температур от теплых, термальных до гипертермальных, что удобно для отпуска минеральной воды без подогрева, когда сохраняется природная структура и целебные свойства воды. Температура подземных вод в водоносном горизонте составляет +50–60 °С, на устье — +38–45 °С.

В связи с тем, что минеральные воды Нагутского месторождения относятся к термальным водам, в условиях лабораторных испытаний был оценен вклад температурного фактора в формирование этих вод. Установлено, что фактор температуры способствует накоплению B и Si в водной фазе, тогда как фактор минерализации, с одной стороны, сдерживает рост концентрации кремния, а с другой, способствует весьма существенному накоплению бора в воде, вплоть до состава воды «борного» типа [22].

Ввиду разнообразия добываемых в регионе минеральных вод существует необходимость разработки информационного ресурса, представляющего сведения о гидроминеральной ресурсной базе региона, а также создание единой базы данных по месторождениям минеральных вод в регионе Кавказские Минеральные Воды [23]. Для упакованных вод Ставропольского края («Ессентуки № 4», «Нагутская-4», «Нарзан», «Доктор Гааз», «Славяновская», «Смирновская», «Бештаугорская-2», «Новотерская целебная», «Нагутская-56», «Нагутская 26» и т. д.) в зависимости от химического состава и изотопных характеристик создан банк данных на 13 групп минеральных вод 10 производителей [24].

Сегодня на Нагутском месторождении из шести скважин добывается четыре гидрохимических типа природных термальных минеральных вод согласно ГОСТ Р 54316–2020[1] (Таблица 1).

Таблица 1. **Характеристика скважин Нагутского месторождения, Ставропольский край**

Table 1. **Characteristics of the wells of the Nagutskoye deposit, Stavropol Krai**

Группа минеральной воды	Гидрохимический тип	Водоисточник	Наименование представителя типа	Минерализация, г/дм³
Гидрокарбонатная натриевая	Нагутский-26	Скважины № 26-н, 43	Нагутская-26	4–7
	Нагутский-56	Скважина № 56-Э	Нагутская-56	6–9,5
Хлоридно-гидрокарбонатная натриевая	Нагутский-4	Скважина № 49	Нагутская-4	6–10
Хлоридно-гидрокарбонатная натриевая, борная	Ессентукский № 17	Скважины № 47, 9-бис	Нагутская-17	10–14

Именно из скважин Нагутского месторождения продавалась в недавнем прошлом упакованная вода под брендами «Ессентуки № 4» и «Ессентуки № 17», так как их химические составы очень схожи (ГОСТ Р 54316-2020).

Вода минеральная природная лечебно-столовая питьевая «Нагутская-4» выпускается по ГОСТ Р 54316–2020 с изменением 1 (Таблица А 1, группа VIII) и характеризуется следующими показателями:

- общая минерализация: 6,0–10,0 г/дм³ — категория среднеминерализованных минеральных вод;
- группа: хлоридно-гидрокарбонатная (гидрокарбонатно-хлоридная) натриевая;
- основные ионы (мг-экв.%): HCO_3^-–70–80, Cl — 20–25, (Na+K) > 95;
- биологически активные компоненты (мг/дм³): H_2SiO_3 10–80;
- по назначению относится к минеральным природным питьевым лечебно-столовым водам.

В качестве сырья для производства воды минеральной используется вода из скважины № 49 Нагутского месторождения. Особые свойства нативной воды определяются ее приуроченностью

[1] ГОСТ Р 54316–2020 «Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия», М.: Стандартинформ, 2020. — 49 с.

к Суркульско- Кумскому участку Нагутского месторождения, представляющего собой единую, чрезвычайно сложную гидродинамическую систему Нагутского инжекционного мегакупола, в котором под влиянием различных факторов сформировались многочисленные типы вод. Основные процессы формирования минеральной воды скважины № 49 обусловлены совокупностью геолого-гидрологеологических факторов участка водозабора, включающих наличие мощных очагов инжекции в апт-альбских отложениях глубинной термометаморфической углекислоты; развитие систем проницаемых тектонических трещин; литолого-фациальный состав водовмещающих пород; относительно затрудненный газоводообмен; высокая температура и пластовое давление [21].

Целью настоящего исследования было установление критериев идентификации воды минеральной лечебно-столовой питьевой «Нагутская-4» и сравнительная оценка критериев идентификации упакованных минеральных вод «Нагутская-4» и «Ессентуки № 4».

2. Материалы и методы

Работа проводилась специалистами направления минеральных и питьевых вод ВНИИПБиВП — филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН при участии сектора анализа минеральных и питьевых вод ИЦ ВНИИПБиВП и отдела технологии вина.

В качестве объектов исследования были выбраны промышленно разлитые воды минеральные природные лечебно-столовые «Нагутская-4» различных производителей, упакованные в потребительскую упаковку из полиэтилентерефталата и стекла, а также нативная вода из скважины. Ретроспектива исследований: 2020–2023 гг. (всего 10 образцов).

Испытания образцов минеральной воды по органолептическим и физико-химическим показателям проведены на соответствие ТР ЕАЭС 044/2017[2] и ГОСТ Р 54316–2020 по перечню показателей Приложения В.

Определение показателей проводили по утвержденным методикам, зарегистрированным в установленном порядке. Органолептические показатели определяли по ГОСТ 23268.1–91[3]. Состав рассчитывался следующим образом: для выявления катионов (кальция и магния) использовался титриметрический метод согласно ГОСТ 23268.5–78, натрий и калий измерялись методом атомной абсорбции по ГОСТ 23268.6–78 и ГОСТ 23268.7–78 соответственно на атомно-абсорбционном спектрофотометре VEB Carl Zeiss JENA AAS-3 с электротермическим атомизатором EA-30 (Германия). Анионы (сульфаты) определялись методом ионной хроматографии по ГОСТ 31867–2012 на жидкостном ионном хроматографе «Цвет-3006» (НПО «Химавтоматика», г. Москва), а хлориды и гидрокарбонаты — титриметрическим методом согласно ГОСТ 23268.17 и ГОСТ 23268.3 соответственно.

Определение токсичных элементов проводили методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с электротермической атомизацией по ГОСТ 31870–2012[4], М-02–2406–13[5] на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-3 с электротермическим атомизатором EA-30, бор выявляли флуориметрическим методом по ГОСТ 31949–2012[6] на анализаторе жидкости «Флюорат-02–2М» (ООО «ЛЮМЭКС», г. Санкт-Петербург), кремний, бром, йод — колориметрическим/фотометрическим методом по РД 52.24.433–2018[7], ГОСТ 23268.15–78[8], ГОСТ 23268.16–78[9] соответственно на спектрофотометре СФ-2000 (ЗАО ОКБ «СПЕКТР», г. Санкт-Петербург).

Общую минерализацию (М) в г/л, содержание метакремниевой и ортоборной кислоты в мг/дм^3 определяли расчетным методом в соответствии с ГОСТ Р 54316–2020 (соответственно п. п. 7.7, 7.11, 7.12).

Аналитические исследования изотопного состава воды проводились на изотопном масс-спектрометре Delta V Advantage (Thermo Fisher Scientific, США — Германия), совмещенном с модулем GasBench II, позволяющим определять изотопные отношения кислорода и водорода в исследуемых образцах в концентрациях от 200 нмоль до 20 ммоль.

В случае анализа на показатели изотопных характеристик кислорода использовали метод, основанный на изотопном уравновешивании молекул кислорода водной компоненты анализируемого образца и кислорода молекул CO_2 в смеси CO_2-He. Изотопное уравновешивание происходило в закрытых крышками и предварительно продутых смесью CO_2-He и далее уравновешивалось в пробирках в течение 20 часов в термостате при температуре 24 °C. В случае же анализа на показатели изотопных характеристик водорода использовали метод, основанный на уравновешивании молекул водорода водной компоненты анализируемого образца и водорода молекул H_2 в смеси H_2-He, и далее содержимое уравновешивалось в пробирках в течение 40 минут с использованием платинового катализатора при температуре 24 °C. Газовую смесь в случае как с кислородом, так и с водородом с измененным изотопным составом анализировали в масс-спектрометре изотопных отношений. Калибровку масс-спектрометра проводили по стандартам МАГАТЭ VSMOW2, USGS47, SLAP2. Значения показателя $\delta^{18}O$ и $\delta^{2}H$ в исследуемых жидкостях рассчитывали с помощью программного комплекса ISODAT. В качестве рабочего стандартного образца (РСО) применяли газообразный диоксид углерода (CO_2) высокой степени очистки 99,9999%, водород (H_2) чистоты 99,999%, а также задействовали в качестве газа-носителя гелий (He) высокой степени очистки 99,9999%. Помимо этого, также были использованы для изотопного уравновешивания смесь газов, состоящая из гелия (чистота 99,9999%) и 0,4% высокоочищенного диоксида углерода, а также другая смесь, состоящая из гелия (чистота 99,9999%) и 2% высокоочищенного водорода.

Статистические данные обрабатывались программой Statistics (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA, 2006). Эксперименты проводились в 5 ÷ 6 повторностях с доверительной вероятностью $p \geqslant 95\%$.

3. Результаты и обсуждение

По органолептическим свойствам все исследованные пробы минеральной воды «Нагутская-4» соответствовали необходимым требованиям: бесцветная, прозрачная жидкость с характерными вкусом и ароматом — слабосолоноватая и кислая (за счет растворенной углекислоты) на вкус, без запаха и механических примесей.

Содержание биологически активного микрокомпонента кремния (в пересчете на метакремниевую кислоту) составляет 42,1–59,2 мг/дм^3, что не позволяет однозначно отнести минеральную воду к группе «слабокремнистая» или «кремнистая». Концентрация бора (в пересчете на ортоборную кислоту) составляла 12,0–24,0 мг/дм^3, что недостаточно для отнесения исследуемой воды к группе «борная».

Оценка стабильности органолептических и физико-химических показателей, а также содержания токсичных металлов в воде минеральной показала, что по изученным показателям все исследованные образцы воды соответствовали требованиям, предъявляемым к лечебно-столовым минеральным природным водам.

Токсичные металлы и нормируемые элементы, в том числе кобальт, кадмий, свинец, селен, сурьма, ртуть, мышьяк никель, хром и др., соединения группы азота (нитриты, нитраты) в испытанных образцах воды содержатся в очень низких концентрациях, ниже предела обнаружения метода измерения. Из токсичных металлов, нормируемых ТР ЕАЭС 044/2017, в анализируемых водах обнаружены барий, литий и стронций.

Солевой состав исследованной воды минеральной с учетом сезонных колебаний за все время исследований был достаточно стабильным и соответствовал требованиям ГОСТ Р 54316–2020. Анализ полученных данных показал, что исследованные упакованные минеральные воды относятся к хлоридно-гидрокарбонатной натриевой подгруппе минеральных вод слабокремнистой группы в соответствии с Классификацией природных лечебных ресурсов[10]

[2] ТР ЕАЭС 044/2017 Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности упакованной питьевой воды, включая природные минеральные воды» (ТР ЕАЭС 044/2017). Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 года N45.

[3] ГОСТ 23268.1–91 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения органолептических показателей и объема воды в бутылках», М.: Издательство стандартов, 1985. — С. 23–34.

[4] ГОСТ 31870–2012 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектрометрии», М.: Стандартинформ, 2012. — 20 с.

[5] М-02–2406–13 Методика количественного химического анализа. Определение элементов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках атомно-абсорбционным методом (свидетельство об аттестации N443/242(01.00250–2008)-2013 от 24.09.2013, номер в реестре ФР.1.31.2017.25626)

[6] ГОСТ 31949–2012 «Вода питьевая. Метод определения содержания бора», М.: Стандартинформ, 2012. — 8 с.

[7] РД 52.24.433–2018, Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. Методика выполнения измерений фотометрическим методом в виде желтой формы молибдокремниевой кислоты (свидетельство об аттестации N87.24–2004, номер в реестре KZ.07.00.01180–2015 от 09.12.2015)

[8] ГОСТ 23268.15–78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения бромид-ионов», М.: Издательство стандартов, 1985. — С. 85–91.

[9] ГОСТ 23268.16–78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения йодид-ионов», М.: Издательство стандартов, 1985. — С. 92–96.

[10] Классификация природных лечебных ресурсов. Утверждена приказом Минздрава России № 557н от 31 мая 2021 г.

и являются водой минеральной природной питьевой «Нагутская-4». По основным идентификационным показателям, зарегистрированным в ГОСТ Р 54316–2020 и НМПТ, исследованные минеральные воды соответствуют необходимым требованиям. Результаты исследования (среднее значение по выборке и стандартное отклонение δ) представлены в Таблице 2. Идентификационные показатели были ранжированы по степени значимости: в первый блок вошли показатели солевого состава, характеризующие подгруппу минеральной воды и обнаруженные в концентрации более 20 мг-экв.%, общая минерализация в г/л, во второй — показатели солевого состава, обнаруженные в концентрации значительно менее 20 мг-экв.%, и биологически активные компоненты, характеризующие группу минеральной воды.

Таблица 2. **Макро- и микрокомпонентный состав минеральной воды «Нагутская-4»**

Table 2. **Macro- and micro-component composition of mineral water "Nagutskaya — 4"**

Показатель,	Вода минеральная природная лечебно-столовая питьевая «Нагутская-4» (скважина № 49)		НМПТ	ГОСТ Р 54316
	x ± δ			
	мг/дм³	мг-экв./дм³		
Среднее значение идентификационных показателей, определяющих подгруппу минеральных вод				
K^+	26,7 ± 4,03	0,6 ± 0,1	2000–2700	1900–2700
Na^+	2448 ± 42,8	97,7 ± 1,3		
Cl^-	792,3 ± 6,5	20,6 ± 0,6	600–900	550–1000
HCO_3^-	4981,0 ± 83,3	74,8 ± 0,5	4000–5500	4000–5500
М, г/л	8,6 ± 0,16	–	6,0–9,0	6,0–10,0
Среднее значение идентификационных показателей, определяющих группу минеральных вод по биологически активным компонентам и элементам солевого состава				
Mg_2^+	6,7 ± 1,5	0,5 ± 0,1	< 50	1–25
Ca_2^+	26,4 ± 3,5	1,2 ± 0,2	< 100	10–100
SO_4^{2-}	240,2 ± 38,3	4,6 ± 0,6	100–350	100–350
H_2SiO_3	50,3 ± 8,0	–	44	10–80
H_3BO_3	16,5 ± 4,9	–	отсутствует	отсутствует

Вместе с тем каждая скважина индивидуальна и характеризуется определенным набором элементов и концентраций, в том числе наличием бальнеокомпонентов и микроэлементов.

Из биологически активных компонентов (бальнеокомпонентов) в анализируемой воде в бальнеонормах присутствует только кремний; бор, фтор, йод и бром обнаружены в концентрациях значительно меньше бальнеологических норм. Микрокомпоненты, обнаруженные в стабильных концентрациях (литий, стронций, барий, бор, фтор, йод и бром), могут служить маркерами для идентификации минеральной воды «Нагутская-4» в качестве дополнительных идентификационных показателей.

Результаты исследования микрокомпонентов (среднее значение по выборке и стандартное отклонение δ), предлагаемых для идентификации, приведены в Таблице 3.

Таблица 3. **Средние значения микрокомпонентов минеральной воды «Нагутская-4»**

Table 3. **Mean values of microcomponents of mineral water "Nagutskaya — 4"**

Показатель,/ мг/дм³	Среднее значение по выборке	Стандартное отклонение
Li^+	0,3	0,07
Sr^{2+}	1,4	0,64
Ba^{2+}	0,20	0,04
F^-	2,4	0,4
Cl^-	792,3	6,5
Br^-	3,9	0,5
I^-	0,4	0,15

На следующем этапе была проведена сравнительная оценка идентификационных показателей упакованных минеральных вод «Нагутская-4» и «Ессентуки № 4». Результаты аналитических данных (среднее значение по выборке) представлены на Рисунке 1.

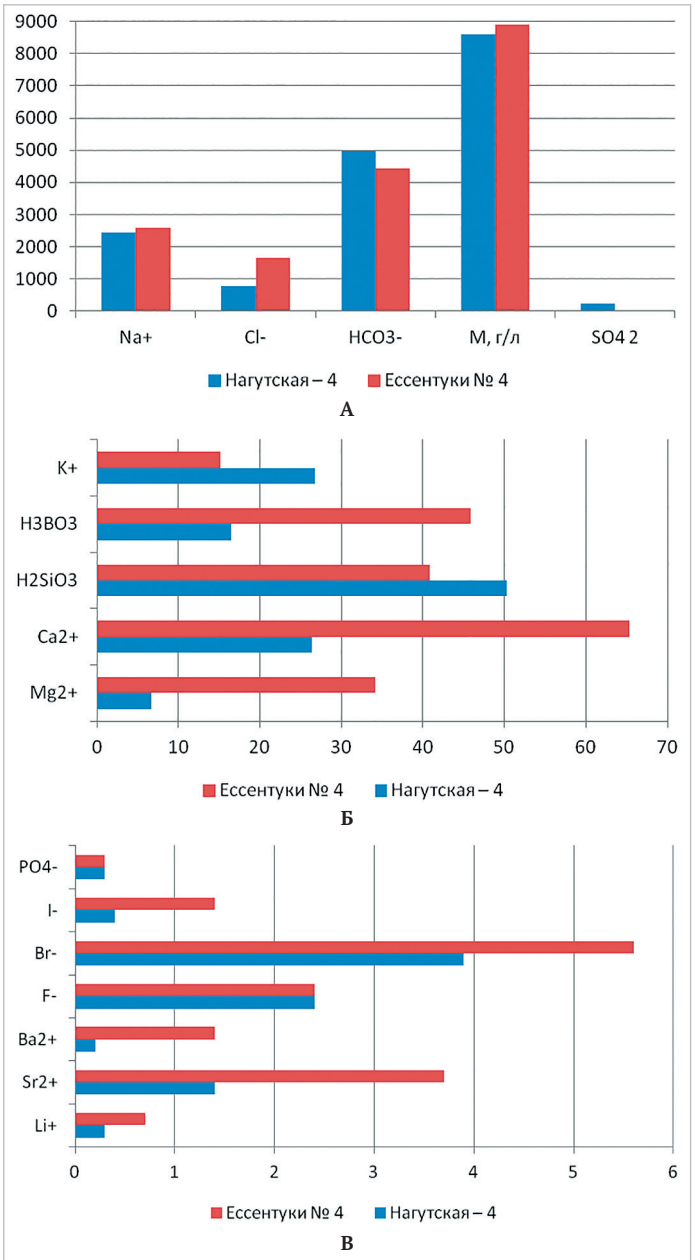


Рисунок 1. **Сравнительная оценка значений идентификационных показателей вод минеральных лечебно-столовых «Нагутская-4» и «Ессентуки № 4»**

Figure 1. **Comparative assessment of identification indicators of the mineral medicinal table waters "Nagutskaya-4" and "Essentuki No. 4"**

А — показатели, определяющие особые свойства минеральной воды и характеризующие подгруппу минеральных вод;

Б — показатели, которые определяют особые свойства минеральной воды и характеризуют группу минеральных вод по содержанию биологически активных компонентов и элементов солевого состава, не включенных в блок Рисунка 1 А.

В — дополнительные показатели химического состава (микрокомпоненты), рекомендуемые как идентификационные.

Анализ полученных результатов химического состава образцов минеральных вод «Нагутская-4» и «Ессентуки № 4» показал, что в соответствии с принятой Классификацией природных лечебных ресурсов исследованные образцы минеральных вод по целевому назначению относятся к категории питьевых вод, по совокупности показателей общей минерализации и содержания биологически активных компонентов относятся к подкатегории лечебно-столовых вод, по соотношению ионов основного ионно-солевого состава — к под-

группе хлоридно-гидрокарбонатная натриевая, по значению минерализации — к подгруппе среднеминерализованная. По показателям основного состава упакованные минеральные воды «Нагутская-4» и «Ессентуки № 4» отличаются по содержанию хлоридов и сульфатов (Рисунок 1 А). Минеральная вода «Нагутская-4» содержит в 2 раза меньше хлоридов, чем «Ессентуки № 4», и значительно больше сульфатов при практическом их отсутствии в воде «Ессентуки № 4».

По основным бальнеологическим показателям лечебной значимости минеральная вода «Ессентуки № 4» относится к группе борная, слабокремнистая; а «Нагутская-4» — к группе слабокремнистая (кремнистая). Концентрация бора (в пересчете на ортоборную кислоту в минеральной воде «Нагутская-4» составляла 12–24 мг/дм^3 и была меньше принятой бальнеологической нормы (35 мг/дм^3), в то время как концентрация H_3BO_3 в минеральной воде «Ессентуки № 4» позволила отнести ее к группе борных вод. Концентрация метакремниевой кислоты в минеральной воде «Нагутская-4» составляла в среднем по выборке 50,3 ± 8,0 мг/дм^3 при максимально допустимой для слабокремнистых и минимально-необходимой для кремнистых минеральных вод 50 мг/дм^3. Для минеральной воды «Ессентуки № 4» концентрация H_2SiO_3 не достигала уровня бальнеонормы для группы кремнистых вод.

На основании полученных данных составлены формулы минеральных вод 1 и 2.

Вода минеральная природная лечебно-столовая питьевая «Нагутская-4» хлоридно-гидрокарбонатная слабокремнистая (кремнистая):

$$M\ 8{,}4–8{,}8\ \frac{HCO_3\ 74{,}6–75{,}7\ Cl\ 19{,}8–20{,}9}{(Na + K)\ 97{,}4–98{,}5}\ H_2SiO_3\ (42{,}1–59{,}2) \quad (1).$$

Вода минеральная природная лечебно-столовая питьевая «Ессентуки № 4» хлоридно-гидрокарбонатная борная, слабокремнистая:

$$M\ 8{,}7–8{,}9\ \frac{HCO_3\ (60–62{,}1)\ Cl\ (37{,}8–39{,}9)}{(Na + K)\ 93{,}8–96{,}4}\ H_3BO_3\ (45{,}3–46{,}8)\ H_2SiO_3\ (17{,}0–42{,}8) \quad (2).$$

По микрокомпонентному составу исследуемые минеральные воды были похожи и характеризовались практически тем же набором микрокомпонентов, но в воде «Ессентуки № 4» они определялись в большей концентрации (Рисунок 1 В).

На следующем этапе исследуемые минеральные воды сравнивались по изотопным характеристикам. В воде глубоких подземных скважин изотопные характеристики воды (δD и $\delta^{18}O$) позволяют различать первоисточники подземной воды (инфильтрационные, седиментационные, ювенильные и т. д.) и оценивать долю каждого генетического типа в изучаемой смеси. Целью изотопных исследований подземных вод является главным образом установление условий формирования, происхождения и динамики водообмена [25]. Вместе с тем изотопные характеристики минеральных вод могут быть использованы при их идентификации. Наиболее перспективный метод для решения этой задачи — масс-спектрометрический метод определения изотопного состава кислорода и водорода этих вод. Результаты исследования (среднее значение по выборке и стандартное отклонение δ) приведены в Таблице 4.

Таблица 4. **Изотопные характеристики минеральных вод**

Table 4. **Isotopic characteristics of mineral waters**

Изотопные характеристики	Наименование образца воды минеральной лечебно-столовой			
	«Нагутская-4»	«Ессентуки № 4»		
	скв. 49	скв. 49-Э	скв. 71	скв. 57-РЭ-бис
δO^{18}, ‰	(– 11,63 ± 0,08)	(– 9,29 ± 0,6)	(– 9,15 ± 0,6)	(– 9,17 ± 0,3)
δD, ‰	(– 73,50 ± 0,59)	(– 77,51 ± 3,4)	(– 74,12 ± 2,3)	(– 74,12 ± 0,2)

Анализ полученных результатов показал, что изотопные характеристики исследуемых образцов близки по показателям изотопных характеристик водорода и кислорода, так как Ессентукское и Нагутское месторождения расположены в одном регионе и достаточно близко. Вместе с тем даже в пределах одного месторождения скважины могут несколько отличаться по изотопным характеристикам, так, по соотношению изотопов водорода δD образец из скважины 49-Э Ессентукского месторождения был немного легче (– 77,51‰) двух других образцов. Сравнение изотопных характеристик исследуемых минеральных вод показало, что по соотношению изотопных характеристик кислорода $\delta^{18}O$ минеральная вода «Нагутская-4» из скважины № 49 была «легче» минеральной воды «Ессентуки № 4» со значением — 11,63‰. Изотопные характеристики кислорода и водорода минеральных вод зависят в первую очередь от географического местоположения источника и от геоклиматических особенностей региона. Схожесть полученных результатов хорошо показывает факт того, что данные месторождения находятся близко относительно друг друга, что подтверждает данную теорию.

Таким образом, проверены и уточнены идентификационные показатели для воды минеральной «Нагутская-4», которые разбиты на блоки по значимости. В перечень дополнительных показателей для идентификации минеральных вод «Нагутская-4» и «Ессентуки № 4» рекомендуется включить фториды, токсичные металлы (литий, стронций, барий), а также биологически активные компоненты (йод и бром), концентрации которых характерны для данной группы вод. Сравнительная оценка идентификационных показателей Ессентукского и Нагутского месторождений показала их идентичность, а их количественное содержание в упакованных минеральных водах, ранее разливаемых под одним брендом, показала их различие по ряду показателей (хлоридам, сульфатам, бору, микрокомпанентам и т. д.), что позволит надежно их идентифицировать.

4. Выводы

В результате проведенной работы получены новые экспериментальные данные по химическому составу и изотопным характеристикам минеральной воды Нагутского месторождения «Нагутская-4». Предложены и научно обоснованы ее идентификационные показатели.

В качестве идентификационных показателей используются традиционные показатели (основной состав, биологически активные компоненты и минерализация) и микрокомпоненты, характерные для скважины № 49 Нагутского месторождения. Идентификационные показатели ранжированы по степени значимости: 1 блок — показатели основного состава, характеризующие подгруппу; 2 блок — элементы, характеризующие группу минеральных вод по биологически активным компонентам и элементам солевого состава, не входящим в блок 1; 3 блок — микрокомпоненты, характерные для данного месторождения.

В перечень дополнительных показателей для идентификации минеральных вод «Ессентуки № 4» и «Нагутская-4» рекомендуется включить фториды, токсичные металлы: литий, стронций, барий; биологически активные компоненты: йод и бром, концентрации которых были достаточно стабильны за весь исследуемый период и были характерны для данной группы вод Ессентукского и Нагутского месторождений.

Проведенная сравнительная идентификация близких по происхождению, условиям формирования и составу минеральных вод «Нагутская-4» и «Ессентуки № 4» показала возможность их идентификации как по основным идентификационным показателям (показатели, выносимые в маркировку), так и по микрокомпонентному составу, изотопным характеристикам. Установлено, что для изученных минеральных вод Ессентукского и Нагутского месторождений характерно наличие микрокомпонентов (лития, стронция, бария, фтора, йода и брома), которые могут служить в качестве маркеров при идентификации упакованной минеральной воды, как и их изотопные характеристики.

В соответствии с поставленной целью были установлены критерии идентификации воды минеральной лечебно-столовой питьевой «Нагутская-4», а проведенная сравнительная оценка идентификационных показателей и их количественного содержания упакованных минеральных вод «Нагутская-4» и «Ессентуки № 4» позволила выявить их сходство и различие. Разработанные критерии идентификации минеральной воды «Нагутская-4» позволят однозначно ее идентифицировать из ряда однотипной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митин, С. Г, Сысоев, Г. В., Оганесянц, Л. А., Севостьянова, Е.М. (2020). Производство упакованных вод. Состояние, проблемы и пути их решения. *Пиво и напитки*, 4, 29–32. https://doi.org/10.24411/2072–9650–2020–10041
2. Аслаханов, А. А. (2018). Контрафакт убивает бренд. *Контроль качества продукции*, 1, 54–55.
3. Анищенко, Д., Талызина, Т. Л. (17 марта, 2020). *Идентификация ионного состава минеральных вод*. Материалы XVII Международной научной конференции, Брянск: Брянский государственный аграрный университет. Брянск, Россия. 2020.
4. Амелин, В. Г., Подколзин, И. В., Третьяков, А. В. (2012). Применение масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой для идентификации происхождения и выявления факта фальсификации природных минеральных вод. *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*, 55(7), 16–21.
5. Васюков, А. Е., Суринова, К. К., Зиновьев, Н. Р., Никулина, С. Н. (2020). *Использование двукратного измерения удельной электропроводности воды для идентификации ее минерального состава*. Научные труды Калужского государственного университета имени К. Э. Циолковского. Серия: Естественные и технические науки. Калуга: Издательство КГУ имени К. Э. Циолковского, 2020
6. Шаока, З. А. Ч., Амелин В. Г., Репкин Р. В. (2022). Идентификация природных минеральных вод Владимирской области по цветометрии индикаторных бумаг с использованием смартфона. *Вестник Московского университета. Серия 2: Химия*, 63(3), 233–243.
7. Сидельников, А. В., Майстренко, В. Н., Кудашева, Ф. Х., Бикмеев, Д. М. (2011). Идентификация минеральных вод с использованием вольтамперометрического «электронного языка». *Вестник Башкирского университета*, 16(2), 345–348.
8. Курочкин, В. Ю., Хорошавина, Е. И., Пешехонов, Д. А. (2022). Контроль качества упакованных минеральных питьевых вод. *Гигиена и санитария*, 101(12), 1568–1574. https://doi.org/10.47470/0016–9900–2022–101–12–1568–1574
9. Севостьянова, Е. М., Шилкин, А. А., Семипятный, В. К. (2022). Изучение особенностей химического состава и изотопных характеристик подземных вод Ессентукского месторождения. *Пищевая промышленность*, 9, 92–96. https://doi.org/10.52653/PPI.2022.9.9.018
10. Кольчугина, Т. А. (11–12 января 2018). *Классификация гидроминеральных ресурсов Кавказских Минеральных Вод*. Университетские чтения — 2018: Материалы научно-методических чтений ПГУ, Пятигорск, Том XIV, Пятигорск: Пятигорский государственный университет. 2018.
11. Бондарева, Г. Л. (2008). Условия формирования месторождений минеральных вод региона Кавказских Минеральных Вод. *Геология, география и глобальная энергия*, 1(28), 115–119.
12. Петрова, К. Ю. (29–30 марта, 2019). *Общие сведения о состоянии и использовании минерально-сырьевой базы Ставропольского края*. Материалы докладов VII Всероссийской научно-практической конференции, с международным участием, Махачкала: Дагестанский государственный педагогический университет. Махачкала, Россия. 2019.
13. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Северо-Кавказского федерального округа Российской Федерации за 2021 год, Выпуск 18. Электронный ресурс: https://specgeo.ru/upload/iblock/bee/0jgz9v5m29bl5iemimbr25zquydwgsdk.pdf Дата доступа 20.06.2023.
14. Спектор, С. В., Королев, И. Б., Терещенко, Л. А., Арутюнова, С. В., Стародубова, Ю. П. (2018). Оценка состояния минеральных подземных вод региона кавказские минеральные воды по данным государственного мониторинга состояния недр. *Разведка и охрана недр*, 11, 47–53.
15. Потапов, Е. Г., Ляшенко, С. И. (17–20 августа 2020). *Особенности формирования радиологического состава минеральных вод региона КМВ*. Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Сборник материалов четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием, Улан-Удэ: Геологический институт СО РАН. Улан-Удэ: Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН, 2020. https://doi.org/10.31554/978–5–7925–0584–1–2020–103–106
16. Потапов, Е. Г., Дубинина, Е. О. (20–25 августа, 2018). *Изотопный состав серы пород и подземных вод района КМВ*. Материалы третьей Всероссийской научной конференции с международным участием, Чита: Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН. Чита, Россия. 2018. https://doi.org/10.31554/978–5–7925–0536–0–2018–308–311
17. Потапов, Е. Г., Айдаркожина, А., Лаврушин, В. Ю., Данилов С. Р. (27–29 сентября, 2019). *Рассеянное органическое вещество горных пород и состав подземных минеральных вод региона КМВ*. Актуальные направления сбалансированного развития горных территорий в контексте междисциплинарного подхода: Материалы I Международной научной конференции. Карачаевск: Карачаево-Черкесский государственный университет им. У. Д. Алиева. Карачаевск, Россия. 2019.
18. Открытое акционерное общество «Минеральные воды Ставрополья»: официальный сайт. Электронный ресурс: http://mvs-kmv.ru/info/about.aspx Дата доступа 05.06.2023
19. База данных по месторождениям региона Кавказские Минеральные Воды. Электронный ресурс: https://softsyntez.ru/mineralbase.php?id=3 Дата доступа 05.06.2023
20. Lavrushin, V. Yu, Lisenkov, A. B., Aidarkozhina, A. S. (2020). Genesis of the Yessentuki deposit of carbonated waters, North Caucasus. *Geochemistry International*, 58, 77–90. https://doi.org/10.1134/S0016702920010085
21. Королев, Б. И., Лисенков, А. Б. (2018). Сравнение природных условий формирования минеральных вод Ессентукского и Нагутского месторождений. Геоэкология. *Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*, 2, 30–40.
22. Limantseva, O. A., Cherkasova, E. V., Potapov, E. G., Danilov, S. P. (2016). Analysis of accumulation conditions of minor elements in mineral waters: An example of hydrocarbonate sodic waters of the Nagutskoe mineralized groundwater field. *Geochemistry International*, 54, 712–718. https://doi.org/10.1134/S001670291608005X
23. Флоринский, О. С., Макарова, А. А. (2021). Обоснование необходимости разработки информационного ресурса «Месторождение минеральных вод КМВ». *Вестник Ессентукского института управления, бизнеса и права*, 18, 156–161.
24. Скоробогатова, Н. Н., Артамошкина, О. М., Булгаков, Т. В. (12 марта, 2021). *Некоторые аспекты экспертного исследования минеральных природных питьевых вод Ставропольского края*. Материалы Международной научно-практической конференции, Иркутск: Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации. Иркутск, Россия. 2021.
25. Оганесянц, Л. А., Севостьянова Е. М., Кузьмина Е. И., Ганин М. Ю., Чебыкин Е. П., Сутурин А. Н. (2021). Изучение изотопного и химического состава глубинной воды озера Байкал. *Техника и технология пищевых производств*, 51(4), 723–732. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2021–4–723–732

REFERENCES

1. Mitin, S. G., Sysoev, G. V., Oganesyants, L. A., Sevostyanova, E. M. (2020). Packaged water production. Status, problems and solutions. *Beer and Beverages*, 4, 29–32. https://doi.org/10.24411/2072–9650–2020–10041 (In Russian)
2. Aslahanov, A. A. (2018). Counterfeit kills brand. *Production Quality Control*, 1, 54–55. (In Russian)
3. Anishchenko, D., Talyzina, T. L. (March 17, 2020). *Identification of the ionic composition of mineral waters*. Proceedings of the 17th International scientific conference. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. Bryansk, Russia. 2020. (In Russian)
4. Amelin, V. G., Podkolzin, I. V., Tretyakov, A. V. (2012). Using inductively coupled plasma mass spectrometry to determine origin and reveal a fact of adulteration of natural mineral waters. *The Journal Chemchemtech,* 55(7), 16–21. (In Russian)
5. Vasyukov, A. E., Surinova, K. K., Zinoviev, N. R., Nikulina, S. N. (2020). *Using two-time measurement of the specific electrical conductivity of water to identify its mineral composition*. Scientific works of the Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovski. Series: Natural and technical sciences. Kaluga: KSU named after K. E. Tsiolkovski, 2020. (In Russian)
6. Shaoka, Z. A. Ch., Amelin, V. G., Repkin, R. V. (2022). Identification of natural mineral watersvladimir region by colorimtry of indicator papersusing a smartphone. *Moscow University Chemistry Bulletin*, 63(3), 233–243. (In Russian)
7. Sidelnikov, A. V., Maistrenko, V. N., Kudasheva, F. H., Bikmeev, D. M. (2011). Identification of mineral waters using voltammetric electronic tongue. *Vestnik Bashkirskogo Universiteta*, 16(2), 345–348. (In Russian)
8. Kurochkin, V. Yu., Khoroshavina, E. I., Peshekhonov, D. A. (2022). Quality control of packaged mineral drinking water. *Hygiene and Sanitation,* 101(12), 1568–1574. https://doi.10.47470/0016–9900–2022–101–12–1568–1574 (In Russian)
9. Sevost'yanova, E. M., Shilkin, A. A., Semipyatny, V. K. (2022). Study of the chemical composition and isotopic characteristics of the underground waters of the Essentuki deposit. *Food Industry*, 9, 92–96. https://doi.org/10.52653/PPI.2022.9.9.018 (In Russian)
10. Kolchugina, T. A. (January 11–12, 2018). *Classification of hydromineral resources of the Caucasian mineral waters*. University readings — 2018: Proceedings of the scientific-methodical readings of PSU, Pyatigorsk, Vol. XIV, Pyatigorsk: Pyatigorsk State University, Russia. 2018. (In Russian)
11. Bondareva, G. L. (2008). Conditions for formation of mineral water deposits in the region of Caucasian mineral waters. *Geology, Geography and Global Energy*, 1(28), 115–119. (In Russian)
12. Petrova, K. Yu. (March 29–30, 2019). *General information about the condition and use of mineral and raw material base of the Stavropol krai.* Proceedings of the reports of the 7th All-Russian scientific-practical conference with the international participation, Makhachkala: Dagestan State Pedagogical University. Makhachkala, Russia. 2019. (In Russian)
13. Informational bulletin about the condition of underground resources of the territory of the North Caucasian Federal district for 2021, Issue 18. Retrieved from https://specgeo.ru/upload/iblock/bee/0jgz9v5m29bl5iemimbr25zquydwgsdk.pdf Accessed June 20, 2023 (In Russian)
14. Spector, S. V., Korolev, I. B., Tereshchenko, L. A., Arutyunova, S. V., Starodubova, Yu. P. (2018). State monitoring of mineral underground waters particularly protected ecological resort region of Caucasian mineral waters. *Prospect and Protection of Mineral Resources*, 11, 47–53. (In Russian)
15. Potapov, E. G., Lyashenko, S. I. (August 17–29, 2020). *Features of the formation of the radiological composition of mineral waters of the CMW region.* The Geological Evolution of the Water-Rock Interaction: Proceedings of the 4th All-Russian scientific conference with the international participation, Ulan-Ude, Geological Institute of the Siberian Branch of RAS, Ulan-Ude: Buryat Scientific Center of the Siberian Branch of RAS, Russia. 2020. https://doi. 10.31554/978–5–7925–0584–1–2020–103–106 (In Russian)
16. Potapov, E. G., Dubinina, E. O. (August 20–25, 2018). *Isotope composition sulfur of the rocks and groundwater of the KMV region.* Proceedings of the 3rd All-Russian scientific conference with the international participation, Chita, Buryat Scientific Center of the Siberian Branch of RAS. Chita, Russia. 2018. https://doi.org/10.31554/978–5–7925–0536–0–2018–308–311 (In Russian)
17. Potapov, E. G., Aidarkozhina, A., Lavrushin, V. Yu., Danilov S. R. (September 27–29, 2019). *Hydromineral resources of spa resorts of the Caucasian Mineral Water*. Topical directions of the balanced development of mountain territories in the context of the interdisciplinary approach: Proceedings of the 1st International scientific conference. Karachaevsk: Karachaevo-Cherkessk State University named after U. D. Aliev. Karachaevsk, Russia. 2019. (In Russian)

18. Open joint-stock company “Mineral waters of Stavropolye”: official site. Retrieved from http://mvs-kmv.ru/info/about.aspx Accessed June 5, 2023. (In Russian)
19. Database on deposits of the region Caucasian mineral waters. Retrieved from https://softsyntez.ru/mineralbase.php?id=3. Accessed June 5, 2023. (In Russian)
20. Lavrushin, V. Yu, Lisenkov, A. B., Aidarkozhina, A. S. (2020). Genesis of the Yessentuki deposit of carbonated waters, North Caucasus. *Geochemistry International*, 58, 77–90. https://doi.org/10.1134/S0016702920010085
21. Korolev, B. I., Lisenkov, A. B. (2018). Comparative natural conditions of mineral groundwater formation at the Essentuki and Naguta deposits. *Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology*, 2, 30–40. (In Russian)
22. Limantseva, O. A., Cherkasova, E. V., Potapov, E. G., Danilov, S. P. (2016). Analysis of accumulation conditions of minor elements in mineral waters: An example of hydrocarbonate sodic waters of the nagutskoe mineralized groundwater field. *Geochemistry International*, 54(8), 712–718. https://doi.org/10.1134/S001670291608005X
23. Florinsky, O. S., Makarova, A. A. (2021). Justification of the need to develop an information resource “Mineral water deposit по данным журнала: KMV”. *Bulletin of the Essentuki Institute of Management, Business and Law*, 18, 156–161. (In Russian)
24. Skorobogatova, N. N., Artamoshkina, O. M., Bulgakov, T. V. (March 12, 2021). *Several aspects of expert investigation of mineral natural drinking waters of Stavropol krai.* Proceedings of the International scientific-practical conference. Irkutsk: East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation. Irkutsk, Russia. 2021. (In Russian)
25. Oganesyants, L. A, Sevostianova, E. M, Kuzmina, E. I, Ganin, M. Yu, Chebykin, E.P, Suturin, A. N (2021). Isotopic and Chemical Composition of the Deep Water of Lake Baikal. *Food Processing: Techniques and Technology,* 51(4), 723–732. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2021–4–723–732 (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Елена Михайловна Севостьянова — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдел технологии пивоварения, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7–499–246–01–96 e-mail: waterlena@list.ru ORCID: https://orsid.org/0000–0001–8307–8329 * автор для контактов	**Elena M. Sevostyanova**, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Brewing Technology Department, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7–499–246–01–96 e-mail: waterlena@list.ru ORCID: https://orsid.org/0000–0001–8307–8329 * corresponding author
Ганин Михаил Юрьевич — младший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7–499–246–63–10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–0518–1181	**Mikhail Yu. Ganin**, Junior Researcher, Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo St., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7–499–246–63–10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–0518–1181
Критерии авторства	**Contribution**
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-337-341

Поступила 16.07.2023
Поступила после рецензирования 18.08.2023
Принята в печать 26.08.2023
© Гернуг Х., Чернуха И. М., Утьянов Д. А., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Краткое сообщение
Open access

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОЛИВКОВОГО МАСЛА ИЗ АЛЖИРА

Гернуг Х.[1,2], Чернуха И. М.[1,3],* Утьянов Д. А.[3]

[1] Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

[2] Кафедра пищевых наук и питания, Факультет естественных наук, Университет Хассиб Бен Буали, Губернаторство Шлеф, Алжир

[3] Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
растительное масло, оливковое масло, региональные особенности, польза для здоровья

АННОТАЦИЯ

Алжир — это девятый производитель оливкового масла в мире и четвертый по величине производитель столовых оливок. В 2023 там произведено 868754 тонн этого продукта. Рассмотрены региональные и климатические особенности производства оливкового масла (ОМ), с детализацией по этому продукту, выращенному в Алжире. Исследован жирнокислотный состав ОМ, произведенного в различных регионах страны в сравнении с маслом из Испании и Италии, и дано описание положительного действия диет и лекарственных средств на основе ОМ. Указаны перспективы разработки целевых продуктов на основе белково-жировых модулей с использованием ОМ из определенных регионов Алжира.

Received 16.07.2023
Accepted in revised 18.08.2023
Accepted for publication 26.08.2023
© Ghernoug, H., Chernukha, I.M., Utyanov, D.A., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Short communications
Open access

REGIONAL SPECIFICITY OF ALGERIAN OLIVE OIL

Hatem Ghernoug[1,2], Irina M. Chernukha[1,3],* Dmitry A. Utyanov[3]

[1] Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

[2] Department of Natural and Life Sciences, Faculty of Nutrition and Food Sciences, Hassiba Ben Bouali University of Chlef, Chlef Governorate, Ouled Fares, Algeria

[3] V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

KEY WORDS:
vegetable oil, olive oil, regional specificity, health benefits

ABSTRACT

Algeria is the ninth biggest producer of olive oil in the world and the fourth biggest producer of table olives. In 2023, 868,754 tons of this product were produced there. The paper examines the regional and climatic special features of olive oil (OO) production with detalization by this product grown in Algeria. The fatty acid composition of OO produced in various regions of the country was studied in comparison with oil from Spain and Italy. The positive effect of diets and medicines based on OO is described. The prospects of the development of target products based on protein-fat modules with the use of OO from certain Algerian regions are indicated.

1. Введение

Оливковое масло широко известно и используется в пищу на всех континентах. Большая часть оливкового масла производится в странах Средиземноморского бассейна, и хотя часть продукта потребляется в них, основная масса экспортируется в другие страны. Крупнейшим производителем является Испания, на долю которой 5 965,1 тыс. тонн или примерно половина всего мирового производства. Помимо Испании в первую тройку вошли Италия и Марокко. Замыкает десятку основных производителей ОМ Сирия с объемом 844,3 тыс. тонн в 2022 году [1].

Соединенные Штаты Америки, хоть и не входят в десятку крупнейших производителей ОМ, однако также являются производителем этого продукта с объемом выпуска 152 тыс. тонн. В частности, в Калифорнии, климат которой сходен с климатом средиземноморских стран, известных производством оливкового масла. Другими крупными производителями оливок на американских континентах после Соединенных Штатов являются Чили и Мексика [1].

В стране 1550 маслобойных заводов, 15 заводов по производству оливкового масла, один рафинировочный и 110 маслобойных прессов. Алжирское правительство и фермеры сосредоточили внимание на расширении производства в последнее десятилетие, и в 2019/20 году они добились рекордного урожая оливкового масла в 126,0 тыс. тонн с почти полумиллиона гектаров оливковых рощ [2].

Из произведенного оливкового масла 40% составляют масла высокого качества, такие как масло первого отжима (Virgin, с максимальной кислотностью 2%) или экстра-класса (Extra Virgin, с максимальной кислотностью 0,8%), а остальные 60% используются для производства масла более низкого качества, такого как оливковое масло лампанте (Lampante, с кислотностью выше 2%, что требует очистки перед употреблением)

Что касается потребления, то Алжир потребляет 2 475 литров оливкового масла на душу населения в год и 7,6 тонны столовых оливок на душу населения в год [2].

Авторами проводятся исследования ОМ из разных регионов Алжира с целью определить характерные различия для возможностей идентификации и дальнейшего использования.

2. Объекты и методы

Исследовали ОМ, произведенное из оливок, выращенных в западном Шлеф; восточном Батна и южном Джельфа регионах Алжира. Жирнокислотный состав ОМ изучали по ГОСТ 30623–2018[1].

3. Результаты и обсуждение

Алжир занял девятое место в мире по производству оливкового масла, но около 99 процентов его годового производства предназначено для внутреннего потребления [1]. В алжирском регионе Кабили, города Беджая, Тизи и Зуз, самое высокое производство ОМ.

Выращивают оливковые деревья по всей территории страны, но географически страна делится на 4 района: 1 — северный (Беджая); 2 — западный (Шлеф); 3 — восточный (Батна); 4 — южный «пустынный» (Джельфа).

Каждый регион характеризуется своими климатическими особенностями (Рисунок 1). Из Рисунка 1 видны значительные различия

[1] ГОСТ 30623-2018 «Масла растительные и продукты со смешанным составом жировой фазы. Метод обнаружения фальсификации» — Москва: Стандартинформ, 2018. — 19 с.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Гернуг, Х., Чернуха, И. М., Утьянов, Д. А.** (2023). Региональные особенности оливкового масла из Алжира. *Пищевые системы*, 6(3), 337-341. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-337-341

FOR CITATION: **Ghernoug, H., Chernukha, I. M., Utyanov, D. A.** (2023). Regional specificity of Algerian olive oil. *Food Systems,* 6(3), 337-341. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-337-341

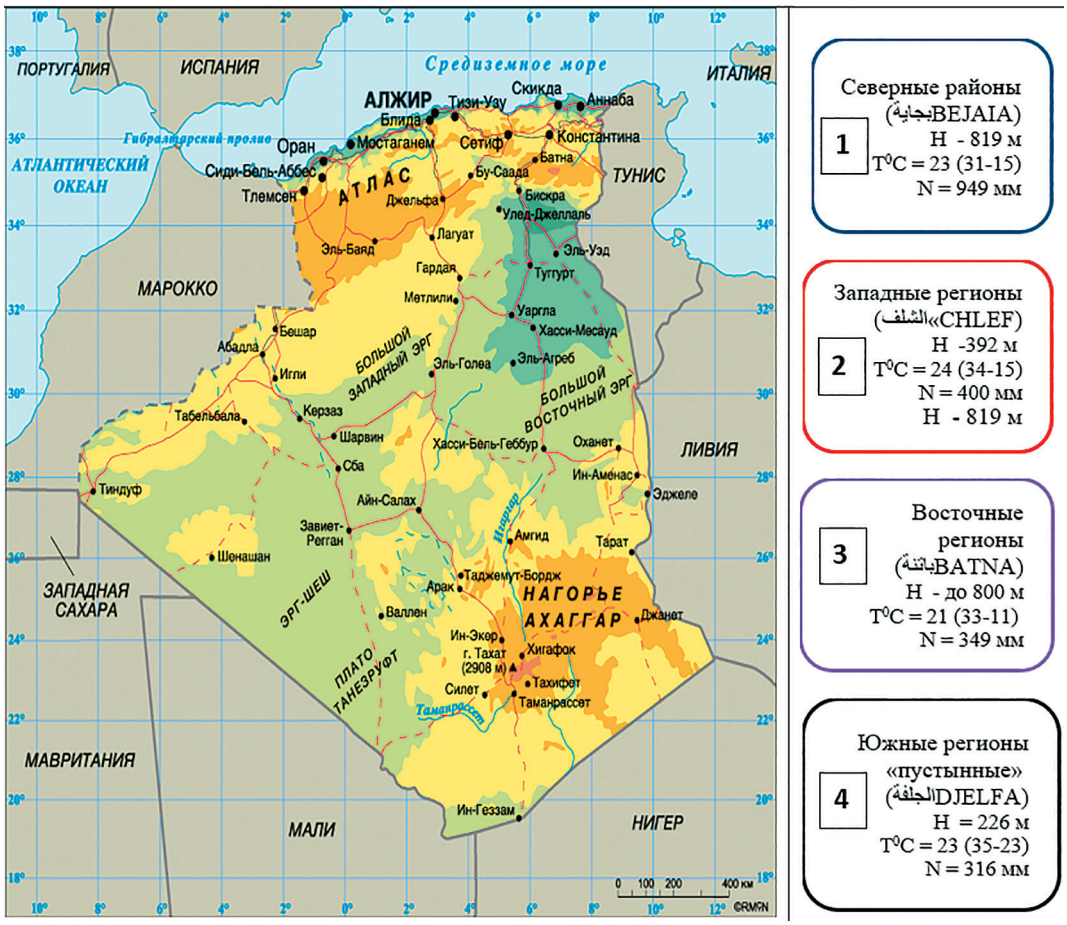


Рисунок 1. **Климатические и географические характеристики регионов Алжира, где H — высота над уровнем моря, N — суммарное количество осадков в год**

Figure 1. **Climatic and geographical characteristics of Algerian regions, where H is altitude, N is total annual precipitation**

в географии и климате регионов. Средняя температура в алжирской провинции Беджая близка к температуре Португалии и на 4–6 °C выше, чем в Италии и Испании. Следует отметить, что температурные условия Алжира чрезвычайно благоприятны для выращивания оливы — 26–30 °C летом и 15–20 °C зимой.

Оливковое масло из всех исследованных регионов, кроме Южного региона Алжира, по своему жирнокислотному составу соответствуют данным, представленным в ГОСТ 30623–2018.

Вместе с тем, содержание жирных кислот значительно разнится в зависимости от региона произрастания. Так, содержание пальмитиновой кислоты (C 16:0) находится в пределах 11–12,6% от общего количества липидов. Примечательно, что ОМ из Испании и Португалии содержат такие же количества пальмитиновой ЖК. В отличие от Италии, где при исследовании ОМ получено значительно большее количество пальмитиновой ЖК равное 15%. Примечательны различия в содержании цис-вакценовой ЖК (C18:1n7). Ее количество колеблется от 0,58 в испанском масле первого отжима Borges, до 6,1% в ОМ из южных регионов Алжира. Разброс составляет от 2,2 раза (для ОМ из Италии) до 10 раз (для ОМ из Испании). Известно, что C 18:1 n7 ЖК образуется в процессе десатурации пальмитиновой ЖК.

Также ОМ из Южного региона Алжира отличается низким содержанием олеиновой ЖК: в 2–2,5 раза ниже, чем в ОМ из Испании, Италии и Португалии. Возможно, эти различия объясняются климатическими условиями южного пустынного региона Алжира, в котором расположена провинция Джельфа, характеризующаяся сухим и жарким климатом. Ранее Zhang и другие [3] отмечали значительные различия в жирнокислотном профиле оливкового масла из олив Леччино в зависимости от долготы и широты произрастания. Аналогичную зависимость отмечали Borges с соавторами [4] при сравнении ОМ, произведенного из оливок Arbequina в Испании и Бразилии.

В то же время по сумме ненасыщенных ЖК (84,4–85,8%) масла из разных регионов Алжира мало отличаются.

С другой стороны. Масличность оливок зависит как от климатических особенностей, так и от сорта. В Таблице 1 суммирована информация о наиболее часто культивируемых в Алжире сортах оливок и их масличности.

Представленные в Таблице 1 данные наглядно свидетельствуют о различиях сортов оливок по содержанию в них масла. В основном, в оливках содержится от 18 до 22% масел. В то же время, в оливках сорта Zlitni содержание достигает 28%, а в оливках Farkani — до 35% масел. Tomé-Rodríguez с соавторами [6] отмечают влияние сорта оливок на липидный профиль оливкового масла. Авторы связывают различия также и с климатическими особенностями, в частности с количеством осадков. Это также справедливо и для оливок из Алжира.

Согласно Таблице 1, основной вид оливы, произрастающей в Алжире — европейская, *Olea europaea*. Наряду с этой, есть еще растения, свойственные африканскому материку, из плодов которого делают масло, напоминающее оливковое. Это *Canarium schweinfurthii* или африканская олива (African elemi — Канариум) (Рисунок 2). Произрастает преимущественно в Нигерии, Уганде и Анголе. Плоды растения напоминают оливки. Масло отличается низкой склонностью к окислению (число омыления, кислотное, йодное числа составляют 155.68 ± 1.34 мг KOH/г; 1.22 ± 0.02 мг KOH/г; 67.26 ± 0.68 мгI_2/г, соответственно) [7].

Для сравнения, число омыления подсолнечного и льняного масел находится в диапазоне 186–195 мг KOH/г., оливкового — 180–200 мг KOH/г. Поскольку число омыления зависит от молекулярной массы жирных кислот, то низкое число омыления масла из *C. schweinfurthii* может свидетельствовать о присутствии большего числа ЖК с высокой молекулярной массой, чем у других масел [8]. Эксперты отмечают потенциал этого растения для промышленного применения. В частности, в кулинарии.



Рисунок 2. ***Canarium schweinfurthii***

Figure 2. ***Canarium schweinfurthii***

Таблица 1. **Оливки, произрастающие в разных регионах Алжира [5]**
Table 1. **Olives growing in various Algerian regions [5]**

Виды оливковых деревьев, сорт оливки		Содержание масел, %	Описание	Место выращивания (регион)
Сегваз (Segwaz) *Olea europaea*		18	Этот вид оливок характеризуется круглой формой и крупными плодами светло-зеленого цвета. Мякоть и кожура считаются наиболее твердым по сравнению с оливками других видов. Дерево может достигать 5 метров в высоту. Слабая устойчивость к засухе и жаре	Северный и восточный регионы (Беджая, Тизи-Узу, Батна и т. д.)
Азрадж (Azradj) *Olea europaea*		18	Оливка черного или темно-фиолетового оттенка, слегка удлиненной округлой формы и среднего размера. Высота составляет 4 метра. Низкая устойчивость к засухе и жаре	Северный и восточный регионы (Беджая, Тизи-Узу, Батна… и т. д.)
Яблоки (Apple) *Olea europaea*		18–22	Этот вид оливок характеризуется круглой формой, плоды двух цветов, зеленые и черные. Имеют среднюю полотность мякоти. Высота дерева около 3 метров. Низкая устойчивость к засухе и жаре	Северный и восточный регионы (Беджая, Тизи-Узу, Батна… и т. д.)
Шамлал (Shamlal) *Olea europaea*		18–24	Этот вид оливок имеет овальную форму и зеленоватый оттенок и считается очень твердым по сравнению со всеми оливками, выращиваемыми в Алжире. Дерево этого вида оливы может достигать более 4 метров в высоту. Средняя устойчивость к засухе и жаре	Западные регионы (Шлеф, Релизан, Айн-Дефла… и т. д.)
Лемли (Lemley) *Olea europaea*		18–24	Этот вид очень похож по своим характеристикам на оливки Азрадж. Высота дерева додостигает 6 Слабая устойчивость к засухе и жаре	Северный и восточный регионы (Беджая, Тизи-Узу, Батна… и т. д.)

Таблица 1. Окончание / End of Table 1

Виды оливковых деревьев, сорт оливки		Содержание масел, %	Описание	Место выращивания (регион)
Абани (Abani) *Olea europaea*		18–24	По форме похожа на сорт оливы Шамлал, за исключением того, что ее цвет темно-фиолетовый, близкий к черному. Плод характеризуется меньшей твердостью. Высота дерева до 5 метров. Высокая устойчивость к жаре и засухе	Южные пустынные районы (Джельфа, Вади-Суф и Бискра… и т. д.)
Злитни (Zlitni) *Olea europaea*		22–28	Этот вид оливок характеризуется круглой формой. Похожа на оливку Apple, однако отличается наименее плотной кожурой и мякотью. высота дерева достигает 4 метра. Считается высокоустойчивым к засухе.	Южные пустынные районы (Джельфа, Вади-Суф и Бискра… и т. д.)
Фаркани (Farkani) *Olea europaea*		33	Очень похожи на оливу Сегваз, однако в некоторых районах высота дерева может достигать 6 метров. Этот вид считается очень устойчивым к жаре и засухе.	Южные пустынные районы (Джельфа, Вади-Суф и Бискра… и т. д.)

Учитывая, что Алжир является регионом со средиземноморским климатом, эти деревья могут быть пригодны для выращивания только в двух регионах Алжира, а именно в Айн-Салахе и Адраре, из-за наличия субтропического пустынного климата. Однако этот эксперимент еще не проводился из-за неподходящих климатических условий, поскольку климат этих регионов по происхождению скорее пустынный, чем тропический.

Известна гипотеза о том, что включение растительных масел в диеты способствует изменению липидного профиля крови как продукта, так и потребителя. Например, de Souto et al. [9] показали изменение липидного профиля рубленой ветчины из мяса птицы с 50%ной заменой свиного жира на свежее или эмульгированное оливковое масло в сторону увеличения поли- и мононенасыщенных жирных кислот. По сравнению с продуктом, в состав которого входил только свиной жир. Также индексы атерогенности и тромбогенности продуктов были ниже в опытных продуктах. [9]

Вместе с тем de Araújo и другие [10] показали отсутствие достоверных различий между пациентами со стабильной ИБС, потреблявших 12 недель оливковое масло (Virgin) или орехи пекан, на изменение клинических биомаркеров липидного профиля крови. В то же время, этими авторами констатируется значительное повышение концентрации олеиновой кислоты (1,49%; 95% доверительный интервал, 0,08–2,89; P = 0,029) конце исследования при потреблении оливкового масла 30 мл/день в течение 12 недель [10].

В работе [11] в опыте на мышах с моделью псориазоподобного воспаления кожи показано, что потребление ОМ приводит, наоборот, к усилению симптомов псориатических поражений кожи. Учитывая, что псориаз характеризуется как хронический воспалительный процесс на коже, приведенная информация несколько противоречит данным об антиокисдантных и противовоспалительных свойствах ОМ.

С другой стороны, описана перспективность применения ОМ в качестве носителя и усилителя сорбции для трансдермальных повязок/суспензий. В целом, ОМ может служить усилителем проникновения лекарственного вещества через кожу благодаря высокому содержанию ненасыщенных ЖК. Эффективность ОМ как пенетратора (усилителя проницаемости) увеличивалась с увеличением числа двойных связей. Олеиновая кислота традиционно считается самым популярным усилителем проникновения среди широкого спектра жирных кислот [12].

4. Выводы

Оливковое масло — один из наиболее распространенных видов продукта. Оливковое масло используется в питании, парфюмерии, медицине. В последнее время большое внимание уделяется положительной роли ОМ для профилактики здоровья, сердечно-сосудистых заболеваний. Основным аспект ОМ, способствующим укреплению здоровья потребителя — это его уникальный жирнокислотный состав. На него, помимо вида оливкового дерева, оказывают влияние климат, географическое расположение региона, сорт оливок, условия сбора, переработки и хранения оливок. Учитывая перспективность применения растительных, в частности, оливкового, масел в качестве лечебно-профилактического пищевого продукта, липидный профиль играет важную роль при определении технологической и функциональной направленности использования масла выбранного региона произрастания.

В дальнейшем мы предполагаем провести комплексное сравнительное изучение ОМ из разных регионов мира и оценить перспективность включения ОМ с определенным липидным профилем в состав комбинированных мясо-растительных продуктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Olive Oil Production by Country 2023. Retrieved from https://worldpopulationreview.com/country-rankings/olive-oil-production-by-country Accessed June 10, 2023
2. Algeria, cradle of agriculture, producer and consumer of olive oil since the dawn of mankind (2022). Retrieved from https://www.juanvilar.com/algeria-cradle-of-agriculture-producer-and-consumer-of-olive-oil-since-the-dawn-of-mankind/ Accessed June 10, 2023
3. Zhang, Y., Zhang, C., Xu, C., Deng, Y., Wen, B., Xie, P. et al. (2022). Effect of geographical location and soil fertility on main phenolic compounds and fatty acids compositions of virgin olive oil from Leccino cultivar in China. *Food Research International,* 157, Article 111207. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111207
4. Borges, T.H., Pereira, J.A., Cabrera-Vique, C., Lara, L., Oliveira, A.F., Seiquer, I. (2017) Characterization of Arbequina virgin olive oils produced in different regions of Brazil and Spain: Physicochemical properties, oxidative stability and fatty acid profile. *Food Chemistry*, 215, 454–462. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.162.
5. Olives growing in different regions of Algeria. Retrieved from https://www.aoad.org/olive/alg.htm Accessed June 1, 2023. (In Arabic)
6. Tomé-Rodríguez, S., Barba-Palomeque, F., Ledesma-Escobar, C.A., Miho, H., Díez, C.M., Priego-Capote, F. (2023). Influence of genetic and interannual factors on the fatty acids profile of virgin olive oil. *Food Chemistry*, 422, Article 136175. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136175
7. Muhammad, H.S., Agada, R., Ogaji, I.J., Ngwuluka, N.S. (2023). Physicochemical characterization and fatty acids composition of four indigenous plant oils. *Scientific African,* 20, Article e01669. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01669
8. Kiin-Kabari, D.B., Umunna, P.S., Giami, S.Y. (2020) Physicochemical properties and fatty acid profile of African elemi fruit pulp oil compared with palm kernel oil. *European Journal of Agriculture and Food Sciences,* 2(6), 1–5. http://doi.org/10.24018/ejfood.2020.2.6.149
9. de Souto, V.O., Santos, M.M.F., Lima, D.A.S., Florentino, G.I.B., de Sousa Galvão, M., Bezerra, T.K.A. et al. (2021). Olive oil-in-water emulsion as a source of desirable fatty acids in free-range "Caipira" chicken ham. *LWT*, 144, Article 111216. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111216
10. de Araújo, A.R., Sampaio, G.R., da Silva, L.R., Portal, V.L., Markoski, M.M., de Quadros, A.S. et al. (2021). Effects of extra virgin olive oil and pecans on plasma fatty acids in patients with stable coronary artery disease. *Nutrition*, 91–92, Article 111411. https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111411
11. Donato-Trancoso, A., Atella, G.C., Romana-Souza, B. (2022). Dietary olive oil intake aggravates psoriatic skin inflammation in mice via Nrf2 activation and polyunsaturated fatty acid imbalance. *International Immunopharmacology*, 108, Article 108851. https://doi.org/10.1016/j.intimp.2022.108851
12. Mittal, A., Sara, U.V.S., Ali, A., Aqil, M. (2009). Status of fatty acids as skin penetration enhancers — a review. *Current Drug Delivery*, 6(3), 274–279. https://doi.org/10.2174/156720109788680877

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Гернуг Хатем — аспирант, Кафедра пищевых наук и питания, Факультет естественных наук, Университет Хассиб Бен Буали ул. № 19Б, Губернаторство Шлеф, Алжир Аспирант, кафедра «Конструирование функциональных продуктов питания и нутрициология», Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел.: +7–920–487–05–34 E-mail: hatemghernoug95@gmail.com ORCID: https://orcid.org /0009–0009–0710–9168	**Hatem Ghernoug**, Postgraduate Student, Department of Natural and Life Sciences, Faculty of Nutrition and Food Sciences, Hassiba Ben Bouali University of Chlef Rue N19, Chlef Governorate, Ouled Fares, 02180, Algeria Postgraduate Student, Department Functional Food Product Design and Nutritionology, Russian Biotechnological University 11, Volokolamsk highway, 125080, Moscow, Russia Tel.: +7–920–487–05–34 E-mail: hatemghernoug95@gmail.com ORCID: https://orcid.org /0009–0009–0710–9168
Чернуха Ирина Михайловна — доктор технических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7–495–676–95–11 (109) E-mail: imcher@inbox.ru, ORCID: http://orcid.org/0000–0003–4298–0927 * автор для контактов	**Irina M. Chernukha**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAS, Principal Researcher, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems. 26, Talalikhina str., Moscow, 109316, Russia Tel.: +7–495–676–95–11 (109) E-mail: imcher@inbox.ru, ORCID: http://orcid.org/0000–0003–4298–0927 * corresponding author
Утьянов Дмитрий Александрович — кандидат технических наук, научный сотрудник, лаборатория «Научно-методических работ, биологических и аналитических исследований», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7–495–676–79–61 E-mail: d.utyanov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–7693–3032	**Dmitry A. Utyanov**, Candidate of Technical Sciences, Research Scientist, Laboratory «Scientific and methodical work, biological and analytical research», V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., Moscow, 109316, Russia Tel.: +7–495–676–79–61 E-mail: d.utyanov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–7693–3032
Критерии авторства	**Contribution**
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-342-349

Поступила 06.04.2023
Поступила после рецензирования 23.08.2023
Принята в печать 08.08.2023
© Кондратьев Н. Б., Руденко О. С., Казанцев Е. В., Белова И. А. Петрова Н. А., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СОХРАННОСТИ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПЕНООБРАЗНОЙ СТРУКТУРЫ

Кондратьев Н. Б.*, Руденко О. С., Казанцев Е. В., Белова И. А. Петрова Н. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
пастильные кондитерские изделия, влагоперенос, массовая доля влаги, активность воды, структурообразователи, глазурь, срок годности, инфракрасная спектроскопия, входной контроль

АННОТАЦИЯ

Кондитерские изделия пенообразной структуры, такие как пастила и зефир, являются востребованными среди различных групп потребителей. Расширение ассортимента и рынков сбыта требует обеспечения качества таких изделий при их транспортировке, хранении, а также повышения их срока годности. Закономерности изменения показателей качества позволяют установить дополнительные требования к ним для повышения сохранности таких изделий. Процессы влагопереноса являются превалирующими при хранении кондитерских изделий пенообразной структуры и обуславливают их черствение или увлажнение. Поэтому необходимо оценить влияние различных факторов на показатели качества в процессе хранения зефира. Проведены исследования влияния различных структурообразователей, таких как агар, пектин, желатин, на направление и скорость процессов влагопереноса при хранении образцов зефира. Показана возможность применения метода инфракрасной спектроскопии для оценки качества структурообразователей при входном контроле. Массовая доля влаги зефира, изготовленного с использованием агара, за 10 недель хранения при температуре 18 °С уменьшилась на 3,5%. За этот период массовая доля влаги зефира, изготовленного с применением пектина в качестве структурообразователя, уменьшилась на 2,5%, в то время как в зефире, приготовленном на основе желатина, массовая доля влаги снизилась только на 1,2%. Таким образом, добавление желатина позволяет уменьшить скорость влагопереноса ориентировочно в 2–3 раза. Низкая скорость влагопереноса зефира обусловлена влагоудерживающими свойствами белковой структуры желатина. Для прогнозирования скорости процессов влагопереноса в образцах зефира, изготовленных с использованием различных структурообразователей и хранившихся при различных температурах, рассчитаны коэффициенты диффузии. Наименьший коэффициент диффузии определен у зефира, изготовленного с добавлением пектина, а наибольший — у образца на основе желатина. Однако у зефира из желатина наблюдается самая низкая фактическая скорость влагопереноса, поскольку градиент активности воды минимальный — 7,6%. При повышении температуры хранения зефира, изготовленного с добавлением различных структурообразователей, с 18 °С до 28 °С скорость влагопереноса увеличилась. У зефира, произведенного на основе агара, этот показатель возрос в 2,7 раза; у образца из пектина — в 3,0 раза; у зефира на основе желатине — только в 1,5 раза. Полученные результаты позволяют прогнозировать риски изменений качества зефира в процессе хранения.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022–0007 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 06.04.2023
Accepted in revised 23.08.2023
Accepted for publication 28.08.2023
© Kondratev N. B., Rudenko O. S., Kazantsev E. V., Belova I. A., Petrova N. A., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

JUSTIFYING THE USE OF STRUCTURE-FORMING AGENTS TO INCREASE STORABILITY OF CONFECTIONERY PRODUCTS WITH THE FOAMY STRUCTURE

Nikolay B. Kondratev*, Oxana S. Rudenko, Egor V. Kazantsev, Irina A. Belova, Natalia A. Petrova

All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:
pastille confectionery, moisture transfer, mass fraction of moisture, water activity, structure-forming agent, icing, shelf life, infrared spectroscopy, incoming inspection

ABSTRACT

Confectionery products with the foamy structure such as pastila and zefir (Russian marshmallow-like confectioneries) are in demand among various consumer groups. The expansion of the range and sales markets requires ensuring quality of such products during their transportation, storage, as well as increasing their shelf life. The patterns of change in quality indicators allow establishing additional requirements for them to improve storability of such products. Moisture transfer processes are predominant during storage of confectionery products with the foamy structure and define their hardening or moistening. Therefore, it is necessary to evaluate the influence of various factors on quality indicators during storage of zefir. Studies have been carried out to determine the influence of various structure-forming agents, such as agar, pectin, gelatin, on the direction and rate of moisture transfer processes during storage of zefir samples. The possibility of using the method of infrared spectroscopy for assessing quality of structure-forming agents during incoming inspection is shown. The mass fraction of moisture in zefir made using agar decreased by 3.5% after 10 weeks of storage at a temperature of 18 °C. During this period, the mass fraction of moisture in zefir made using pectin as a structure-forming agent decreased by 2.5%, while in zefir prepared on the basis of gelatin, the mass fraction of moisture decreased only by 1.2%. Thus, the addition of gelatin makes it possible to reduce the rate of moisture transfer by approximately 2–3 times. The low moisture transfer rate of zefir is due to the water-holding properties of the protein structure of gelatin. Diffusion coefficients were calculated to predict the rate of moisture transfer processes in zefir samples made using various structure-forming agents and stored at different temperatures. The lowest diffusion coefficient was determined in zefir made with the addition of pectin, while the highest diffusion coefficient was in the

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С., Казанцев, Е. В., Белова, И. А., Петрова, Н. А.** (2023). Обоснование использования структурообразователей для повышения сохранности кондитерских изделий пенообразной структуры. *Пищевые системы*, 6(3), 342-349. https://doi.org/10.21323/2618-97712023-6-3-342-349

FOR CITATION: **Kondratev, N. B., Rudenko, O. S., Kazantsev, E. V., Belova I. A., Petrova N. A.** (2023). Justifying the use of structure-forming agents to increase storability of confectionery products with the foamy structure. *Food Systems*, 6(3), 342-349. https://doi.org/10.21323/2618-97712023-6-3-342-349

sample based on gelatin. However, zefir made from gelatin had the lowest actual moisture transfer rate, since the gradient of the water activity was minimal (7.6%). With an increase in the storage temperature of zefir made with the addition of various structure-forming agents from 18 °C to 28 °C, the rate of moisture transfer increased. In zefir produced on the basis of agar, this indicator increased by 2.7 times, in the sample from pectin by 3.0 times; in zefir based on gelatin by only 1.5 times. The results obtained make it possible to predict the risks of changes in zefir quality during storage.

FUNDING: The article was published as part of the research topic № FGUS-2022–0007 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

На сохранность кондитерских изделий пенообразной структуры оказывают влияние значения показателей влагопереноса, химический состав изделий, температура хранения, свойства упаковочных материалов, относительная влажность окружающего воздуха.

Зефир является излюбленным продуктом среди различных групп потребителей. Для расширения ассортимента и рынков сбыта необходимы гарантии качества таких изделий при их транспортировке и хранении, а также увеличение срока годности товаров. Закономерности изменения показателей качества позволяют установить дополнительные требования к показателям качества для повышения сохранности таких изделий. Процессы влагопереноса являются превалирующими при хранении кондитерских изделий пенообразной структуры и обуславливают их черствение или увлажнение. Поэтому необходимо оценить влияние различных факторов на показатели качества в процессе хранения зефира [1].

Пенообразные массы из-за содержания сухих веществ являются неустойчивыми пищевыми системами, подверженными быстрой коалесценции, которая обусловлена самопроизвольным разрушением каркаса пены в результате действия сил поверхностного натяжения. Для придания пищевой системе большей устойчивости используют горячие сахарные растворы, изготовленные с использованием структурообразователя [2].

При формировании зефирной массы пенообразной структуры используются различные структурообразователи, такие как пектины, агар, агароид, желатин, камеди и другие. При охлаждении зефирной массы каркас пены становится полутвердым и формирует характерную пенообразную структуру пастильных изделий, в том числе зефира [3].

Белки в качестве поверхностно-активных веществ в составе зефирной массы способствуют образованию адсорбционных слоев на поверхности пузырьков воздуха и обеспечивают их сохранность. Увеличение количества пузырьков приводит к сближению и деформации их поверхностей, а между соседними пузырьками на границе раздела газ-жидкость возникают вязкоупругие тонкие жидкие пленки (каналы Плато-Гиббса) [4].

Пенообразующая способность и стабильность зависят от состава, физико-химических свойств белка и от температуры получения пены. Казеин и сывороточный белок молока считаются основными поверхностно-активными веществами молока, ответственными за пенообразование [5]. При этом изменение pH также влияет на связывание молекул воды в пенных структурах [6].

Для оценки качества устойчивых пен используются следующие показатели: удельная площадь поверхности, скорость межфазного проскальзывания, коэффициент расширения и конечный предел текучести. Показатель активность воды используется для прогнозирования изменений реологических характеристик различных пищевых систем [7].

Полисахариды улучшают функциональные свойства белков благодаря различным взаимодействиям и факторам, таким как электростатическое и гидрофобное образование водородных связей [8].

Белково-полисахаридные структуры, в которых белок ковалентно присоединен к полисахариду посредством различных реакций, например, реакции Майяра, формируют и стабилизируют пищевые системы [9].

Ранее показано влияние концентрации полисахарида и жирового компонента на структурные и реологические свойства эмульсии, стабилизированной наночастицами, содержащими ксантановую камедь и лизоцим. Установлено, что добавление камеди уменьшает размер капель эмульсии, а между каплями в дисперсионной среде образовывается плотная трехмерная сетчатая структура, которая повышает устойчивость эмульсии [10].

Добавление органической кислоты в рецептурную массу значительно влияет на формирование пены при изготовлении кондитерских изделий пенообразной структуры. Исследовано поведение фазового разделения смесей яичного белка при значениях pH, соответствующих естественному pH белка (7,0) и при значениях ниже его изоэлектрической точки (3,0). При pH 7,0 комплексообразование было выраженным, а комплексы флоккулировали с образованием более крупных частиц. При pH 3,0 объем пены уменьшался, комплексы обладали повышенными твердостью и упругостью структуры [11].

Введение фруктозы в рецептурную смесь замедляет процесс студнеобразованияя, поскольку фруктоза имеет низкую гидратацию и снижает межфазное натяжение водных растворов. Это затрудняет ассоциацию и агрегирование молекул структурообразователя, а также существенно препятствует высыханию корпусов зефира в процессе хранения [12].

В качестве структурообразователей для изготовления зефира используют агар, пектин, желатин, камеди, модифицированные крахмалы и другие. Пектины относятся к важнейшим структурообразователям, в зависимости от происхождения они формируют пищевые системы с различными структурно-механическими свойствами [2].

Молекулы пектинов состоят, в основном, из остатка 1,4-D-галактуроновой кислоты и содержат гомогалактуронан, рамногалактуронан, ксилогалактуронан, апиогалактуронан, арабинан, галактан и арабиногалактан. В зависимости от источника, пектины различаются по размеру молекул, степени ацетилирования и метилирования, по содержанию 1,4-D-галактуроновой кислоты и нейтральных остатков сахара [13].

По происхождению различают натуральные гидроколлоиды животного (желатин, казеин, хитозан, сывороточный белок) и растительного происхождения (пектин, альгинаты, агар и агароиды, каррагинан, камеди, нативные крахмалы и т. д.) и полученные искусственно, в том числе из природных объектов (гидроксиметилцеллюлоза, натрий, карбоксиметилцеллюлоза, модифицированные крахмалы) [14].

Студнеобразующая способность агара зависит от длины цепочек их молекул, что определяется молекулярной массой. Молекулярная масса агара достигает 25 000. Способность агара к студнеобразованию зависит от их природы и условий приготовления студней, температуры, pH среды, ее состава. При введении различных катионов можно изменять величину заряда высокомолекулярного аниона, а следовательно, и физико-химические свойства студней. Получение пенной структуры зефира является сложным технологическим процессом вследствие наличия в рецептуре большого количества рецептурных компонентов, влияющих на свойства готового изделия, таких как сахар белый, патока, пектин, модифицированный крахмал и другие структурообразователи [15].

Крахмалы представляют собой полисахариды, состоящие из глюкозных звеньев, соединенных гликозидными связями. Нативные крахмалы образуют аморфные эластичные пасты при нагревании и гели с высокой способностью к синерезису при охлаждении. Крахмалы отличаются по влагоудерживающей способности. Модифицированные крахмалы используются в производстве мучных кондитерских изделий с фруктовыми начинками, десертов, восточных сладостей (рахат-лукум), пастилы, зефира, карамели, кремов, фруктовых полуфабрикатов и других [16].

Желатин оказывает значительное влияние на процессы влагопереноса и на соотношение форм связи влаги в зефире, препятствует образованию зародышей кристаллов сахарозы в зефирной массе и замедляет скорость их роста. Взаимодействие между структурообразователями и водой зависит от количества и типа гидрофильных, гидроксильных, амидных и карбоксильных групп и от наличия полярных групп. Компоненты с сильными внутри- и межмолекулярными взаимодействиями в случае пектинов в основном с водородными связями и гидрофобными взаимодействиями требуют внесения определенного количества воды для разрыва водородных связей и для начала процесса связывания воды. Доступность влаги может дополнительно зависеть от конформации молекулы и от результирующего положения полярных групп [17].

Присутствие примесей в составе структурообразователей может влиять на их свойства. В кондитерской отрасли востребованы методы оценки структурно-механических свойств структурообразователей, например, методы Блума и Валента. Однако отсутствуют

методы, позволяющие оценить технологические свойства структурообразователей путем качественного анализа их химического состава по наличию химических групп. Поэтому авторами работы [18] предложен метод инфракрасной спектроскопии в средней инфракрасной области (4000–400 $см^{-1}$), позволяющий исследовать химический состав и внутренние молекулярные взаимодействия структурообразователей. Метод позволяет также оценить содержание жира, трансизомеризованных жирных кислот, белка, массовую долю общей влаги и др.

Важным показателем для прогнозирования срока годности различных кондитерских изделий, позволяющим оценить скорость потери влаги в процессе хранения изделий, является коэффициент диффузии D [19]:

$$D \approx -\frac{\Delta Q \times l}{A \times \Delta\tau \times (c_2 - c_1)} \quad (1),$$

где:

ΔQ — количество продиффундировавшей влаги, г;
A — площадь поверхности, $м^2$;
$\Delta\tau$ — длительность процесса влагопереноса, с;
l — толщина упаковочной пленки, м;
c_2 — содержание влаги в паровой фазе окружающего воздуха, $г/м^3$;
c_1 — содержание влаги в паровой фазе в упаковке изделия, $г/м^3$.

Обеспечение сохранности кондитерских изделий пенообразной структуры, одним из элементов которой является срок годности продукта, — наиболее важная задача для кондитерских предприятий. Проводятся многочисленные работы, направленные на повышение сохранности изделий. Например, зефир, для изготовления которого используется крахмальная патока, характеризуется высокой степенью связанности влаги, что позволяет продлить срок его хранения до шести месяцев [20]. Повышение количества сухих веществ в пюре приводит к увеличению плотности изделия, а снижение количества сахара белого в рецептуре изделий обуславливает уменьшение плотности пастильной массы и потерю ее формы в процессе сушки. Введение в рецептуру пищевых волокон оказывает существенное влияние на скорость процессов влагопереноса [21].

Результаты исследований факторов, влияющих на изменения качества кондитерских изделий различных наименований, позволяют обосновать дополнительные требования к показателям качества и безопасности используемых полуфабрикатов и сырья. Это позволит повысить конкурентоспособность кондитерских изделий, а также разнообразить ассортимент выпускаемой пищевой продукции.

Таким образом, проведено большое количество исследований, направленных на формирование кондитерских изделий пенообразной структуры с различным химическим составом. При этом комплексный подход оценки влияния структурообразователей на сохранность таких кондитерских изделий, включающий методики прогнозирования изменений их химического состава и технологической приемлемости, в настоящее время отсутствует.

Поэтому целью данной работы было установление влияния различных структурообразователей на качество зефира в процессе хранения.

2. Материалы и методы

Объектами исследования являлись модельные образцы зефира, изготовленные в лабораторных условиях с заданным рецептурным составом на основе различных структурообразователей: агара различных производителей — образец № 1 (страна происхождения Чили), № 2 (Китай) и № 3 (Италия), пектина высокометоксилированного — образец № 4 (Китай), желатина говяжьего — образец № 5 (Китай) (Таблица 1).

Рабочие рецептуры модельных образцов зефира с использованием различных структурообразователей рассчитаны в соответствии с классическими рецептурами пастильных изделий по унифицированному сборнику «Рецептуры на мармелад, пастилу и зефир» для кондитерской промышленности и требованиями ГОСТ 6441–2014 к составу.

Зефирная масса изготовлена механическим способом с физико-химическими, органолептическими и реологическими показателями в соответствии с требованиями ГОСТ 6441–2014[1]. Она обладала высокой стойкостью пены, состоящей из пузырьков воздуха размером 50–100 мкм. Это позволило изготовить образцы зефира с заданной формой, соответствующие требованиям ГОСТ 6441–2014 по физико-химическим показателям качества и по идентификационным признакам. Массовая доля фруктового сырья в соответствии с ГОСТ 6441–2014 должна быть не менее 11%, массовая доля влаги — не более 25%, при этом плотность зефира не должна превышать 0,6 $г/см^3$.

Таблица 1. **Рабочие рецептуры зефира**
Table 1. **Working recipes for zefir**

Наименование сырья и полуфабрикатов	Расход сырья на 1000 г зефира, г		
	на агаре	на яблочном пектине	на желатине
Рецептура зефира			
Сахар белый	321,65	321,64	261,5
Пюре яблочное	200,0	200,0	200,0
Белок яичный разведенный	64,9	64,6	64,9
Сироп с агаром	538,0	—	—
Сахаро-паточный сироп	—	534,4	606,0
Пектин яблочный	—	10,0	—
Лактат натрия	—	13,5	—
Желатин	—	—	30,0
Кислота молочная	6,0	6,0	—
рецептура сиропа			
Сахар белый	346,45	347,8	363,5
Патока	138,8	142,44	150,0
Агар	10,0	—	—
Лимонная кислота, 50%-й р-р	—	—	6,5
белок яичный разведенный			
Белок яичный сухой	8,55	23,04	8,55
Вода	56,45	56,44	56,45

Зефир, изготовленный на основе исследованных структурообразователей, глазировали шоколадной глазурью, содержащей 55,6% какао продуктов.

Массовая доля влаги была измерена по ГОСТ 5900–2014[2]. Предел воспроизводимости результатов при P = 0,95 составлял 0,5%. Активность воды измеряли в соответствии с ГОСТ ISO 21807–2015[3], основанным на определении «точки росы» на приборе AquaLab (США), модель 3TE. Предел повторяемости должен соответствовать стандартному отклонению 0,002 s_{n-1} для диапазона значений a_w, от 0,999 до 0,600.

Образцы упаковывали в полипропиленовую пленку толщиной 30 мкм. Хранение образцов зефира в течение 10 недель было проведено в климатической камере Climacell 404 (BMT Medical Tecnology s. r. o., Чехия), в термостате Mir 262 (Sanyo, Япония) при традиционной температуре 18 °C и в условиях ускоренного хранения при температуре 28 °C для установления количественного влияния температуры на скорость процессов влагопереноса. Относительная влажность воздуха составляла 50%.

Исследования инфракрасных спектров водных растворов агара проведены с помощью инфракрасного спектрофотометра IRAffinity-1 (Shimadzu, Япония), методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с преобразованием Фурье. Для каждого спектра было сделано 20 сканирований с разрешением сканирования 4,0 и частотой сканирования 1 скан в секунду. Для этого 5% водные растворы образцов агара выдерживали в течение 40 мин и наносили тонким слоем на поверхность кюветы приставки НПВО. Далее проводили измерения инфракрасных спектров растворов.

Математическую обработку полученных результатов производили с использованием программы Excel 2019. Доверительный уровень был определен на основе 5 параллельных измерений в соответствии с критерием Стьюдента. В качестве контролируемых показателей рассматривались массовая доля влаги и активность воды. Проверка адекватности уравнений регрессии проводилась с применением F-критерия Фишера, рассчитанным на основе коэффициентов корреляции при уровне статистической достоверности $p \leqslant 0,05$.

[1] ГОСТ 6441–2014. Изделия кондитерские пастильные. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019. — 8 с.

[2] ГОСТ 5900–2014. Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. Москва: Стандартинформ, 2019. — 16 с.

[3] ГОСТ ISO 21807–2015. Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды. Москва: Стандартинформ, 2016. — 15 с.

3. Результаты и обсуждение

При изготовлении кондитерских изделий пенообразной структуры (зефир, пастила, маршмеллоу и др.) используются структурообразователи, различающиеся химическим составом и свойствами.

Среди применяемых структурообразователей при изготовлении зефира агар различных производителей является наиболее востребованным видом сырья для отечественных пастильных кондитерских изделий. Партии агара различаются своими влагоудерживающими свойствами.

Поэтому были исследованы показатели влагопереноса образцов зефира, приготовленного с использованием агара, из различных источников (образцы 1, 2, 3). Образцы были упакованы в полипропиленовую пленку толщиной 30 мкм и хранились при традиционной температуре 18 °С (см. Рисунок 1).

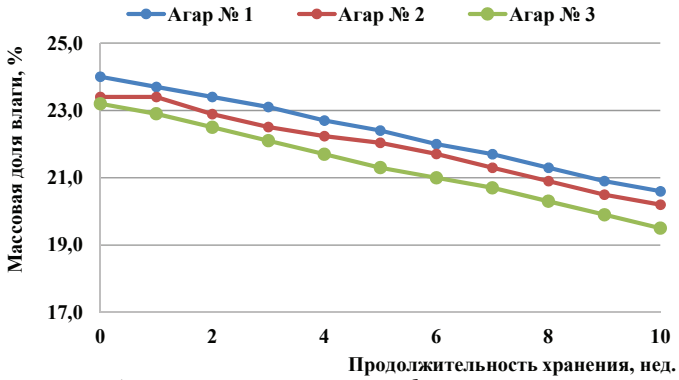


Рисунок 1. **Массовая доля влаги зефира, изготовленного с использованием агара, в зависимости от времени хранения при температуре 18 °С**

Figure 1. **Mass fraction of moisture in zefir made using agar depending on the storage time at a temperature of 18 °C**

Массовая доля влаги зефира, изготовленного с использованием агара из различных источников, приблизительно, одинаковая и зависит от исходного значения массовой доли влаги.

Установлены математические зависимости изменения массовой доли влаги зефира, приготовленного с применением образцов агара из различных источников. Наименьший угол наклона имеет линейная зависимость образца агара № 2 $W = -0{,}33\,\tau + 23{,}58$ ($R^2 = 0{,}99$; F-критерий Фишера = 297).

Скорость влагопереноса наименьшая для зефира, изготовленного с использованием этого студнеобразователя. Математические зависимости изменения массовой доли влаги других образцов зефира: $W = -0{,}34\,\tau + 24{,}07$ ($R^2 = 0{,}99$; F-критерий Фишера = 297) для агара № 1 и $W = -0{,}37\,\tau + 23{,}22$ ($R^2 = 0{,}99$; F-критерий Фишера = 297) для агара № 3.

Активность воды зефира, изготовленного с использованием агара из различных источников, соответственно снижается при хранении (Рисунок 2).

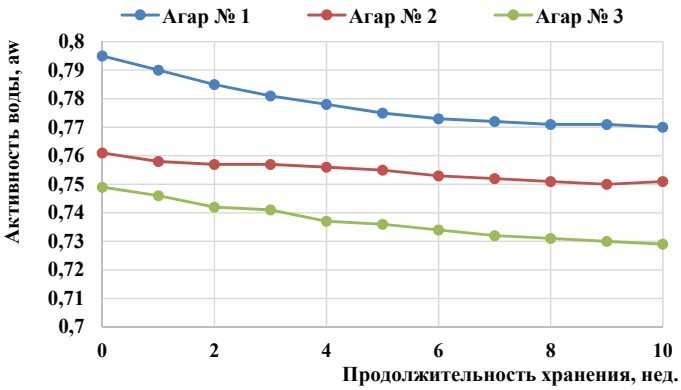


Рисунок 2. **Активность воды зефира, изготовленного с использованием агара из различных источников, в зависимости от времени хранения при температуре 18 °С**

Figure 2. **Water activity of zefir made using agar from various sources depending on the storage time at a temperature of 18 °C**

Активность воды зефира, изготовленного на основе агара из различных источников, находится в диапазоне 0,80–0,75 и зависит от свойств зефира. Незначительное увеличение массовой доли влаги обуславливает соответствующее увеличение активности воды.

После 10 недель хранения зефира массовая доля влаги уменьшилась на 3,2%–3,7% с 22,9%–23,7% до 19,5–20,6%, при этом активность воды снижается незначительно, до 0,77–0,73. Такие изменения показателей влагопереноса позволяют сохранять высокие органолептические характеристики зефира за указанный период хранения.

Определены математические зависимости изменения активности воды зефира, изготовленного с использованием образцов агара. Наименьший угол наклона имеет линейная зависимость образца, изготовленного с применением агара № 2: $a_w = -0{,}001\,\tau + 0{,}760$ ($R^2 = 0{,}95$; F-критерий Фишера = 57), где a_w — активность воды, а τ — длительность хранения (недели). Математические зависимости активности воды образцов зефира на основе агара № 1: $a_w = -0{,}0024\,\tau + 0{,}790$ ($R^2 = 0{,}89$; F-критерий Фишера = 24,2); агара № 3: $a_w = -0{,}002\,\tau + 0{,}747$ ($R^2 = 0{,}96$; F-критерий Фишера = 72).

Таким образом, скорость процессов влагопереноса зефира, изготовленного с использованием агара № 2, наименьшая по сравнению с зефиром, изготовленным с добавлением других образцов агара. Различная скорость влагопереноса зефира, приготовленного на основе агара из различных источников, может быть связана с различиями химического состава использованных образцов агара.

Полученные результаты соответствуют выводам работы, направленной на повышение сохранности пастильных кондитерских изделий функционального назначения на основе агара. Подтверждено увеличение срока годности зефира, упакованного в барьерную пленку, до 9 месяцев [22].

Для выявления причин, влияющих на скорость потерь влаги, проведены исследования инфракрасных спектров водных растворов агара, полученного из различных источников и использованного для дальнейшего изготовления зефира (Рисунок 3).

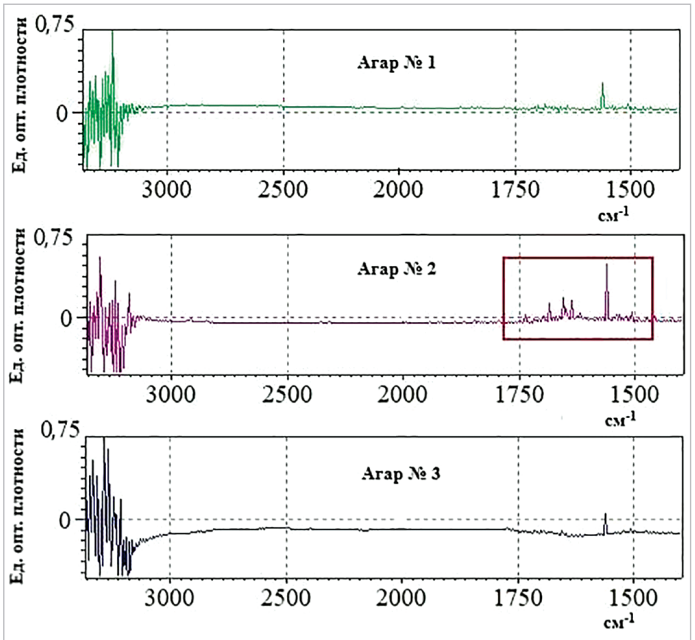


Рисунок 3. **Инфракрасные спектры 5% растворов образцов агара в средней ИК-области**

Figure 3. **Infrared spectra of 5% solutions of agar samples in the mid-infrared region**

На основании полученных данных можно допустить, что относительно высокая влагоудерживающая способность образца агара № 2 обусловлена наличием белка в его химическом составе. Авторы предполагают, что поглощение в области длин волн 1700–1500 $см^{-1}$ инфракрасных спектров обусловлено наличием амидных групп (N–H) и (C=O) белковых молекул в составе агара. Наибольшая высота пиков поглощения раствора агара № 2 соответствует уровню максимального содержания белковых веществ, что прогнозирует наименьшую скорость влагопереноса в образцах зефира. Поэтому образец агара № 2 с наибольшей влагоудерживающей способностью использован в дальнейших исследованиях.

Аналогичные результаты установлены авторами работы [23] при исследовании поглощений групп атомов N–H структурообразователей в областях длин волн 1700–1600 $см^{-1}$ и 1565–1520 $см^{-1}$ инфракрасных спектров. Показано, что увеличение высоты пиков в этих областях спектра прямо пропорционально повышению концентрации амидных групп молекул белковой природы. Присутствие белковых

молекул усиливает способность структурообразователей к удержанию гидроксильных групп воды.

Проведены исследования влияния различных структурообразователей, таких как агар, пектин, желатин, на изменения массовой доли влаги при хранении зефира (Рисунок 4).

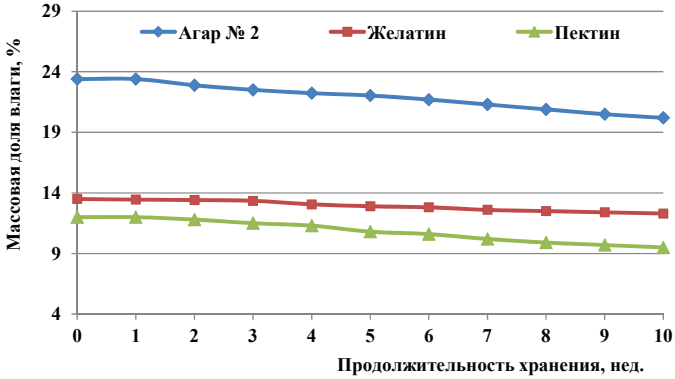


Рисунок 4. **Массовая доля влаги зефира в зависимости от времени хранения при температуре 18 °С**

Figure 4. **Mass fraction of moisture in zefir depending on the storage time at a temperature of 18 °C**

Графики изменения массовой доли влаги зефира, изготовленного с использованием образцов структурообразователей, характеризуются различным углами наклона. Наименьшая скорость потери влаги выявлена у зефира, изготовленного с использованием желатина $W = -0{,}13\,\tau + 13{,}60$ ($R^2 = 0{,}98$; F-критерий Фишера = 147), где W — массовая доля влаги (%), а τ — длительность хранения (недели).

Потери влаги в процессе хранения зефира, изготовленного на основе агара и пектина, приблизительно одинаковые: $W = -0{,}35\,\tau + 24{,}09$ ($R^2 = 0{,}99$, F-критерий Фишера = 297) и $W = -0{,}28\,\tau + 17{,}24$ ($R^2 = 0{,}99$; F-критерий Фишера = 297) соответственно. Однако зефир на основе агара имеет большее исходное содержание влаги.

Массовая доля влаги зефира, изготовленного с использованием агара и упакованного в полипропиленовую пленку толщиной 30 мкм, в процессе хранения при температуре 18 °С уменьшилась за 10 недель на 3,5%.

За этот период массовая доля влаги зефира на основе пектина уменьшилась на 2,5% (с 12,0% до 9,5%). Потери влаги зефира, изготовленного с применением желатина в качестве структурообразователя, составили только 1,2%. Таким образом, использование желатина (с белковой структурой) позволяет уменьшить скорость влагопереноса ориентировочно в 2–3 раза.

Показатель активности воды зефира, изготовленного на основе желатина, значительно ниже, чем зефира из агара и пектина, что позволяет прогнозировать стабильность органолептических и микробиологических характеристик качества при хранении. Установлены математические зависимости изменения активности воды зефира, изготовленного с использованием различных структурообразователей, в процессе хранения при температуре 18 °С (Рисунок 5).

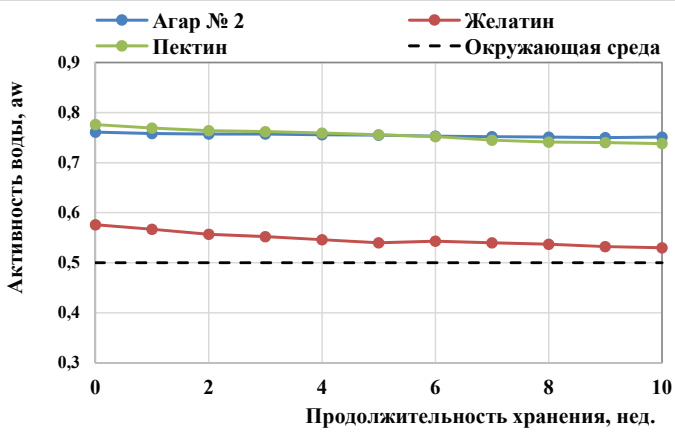


Рисунок 5. **Активность воды зефира, изготовленного с использованием различных структурообразователей, в зависимости от времени хранения при температуре 18 °С**

Figure 5. **Water activity of zefir made using various structure-forming agents depending on the storage time at a temperature of 18 °C**

Наименьший угол наклона имеет линейная зависимость активности воды от длительности хранения образца зефира, изготовленного с использованием агара в качестве структурообразователя: $a_w = -0{,}0018\,\tau + 0{,}797$ ($R^2 = 0{,}95$; F-критерий Фишера = 57), где a_w — активность воды, а τ — длительность хранения (недели).

Для зефира на основе желатина в качестве структурообразователя $a_w = -0{,}0042\,\tau + 0{,}568$ ($R^2 = 0{,}90$; F-критерий Фишера = 27), а для зефира на основе пектина $a_w = -0{,}0038\,\tau + 0{,}7736$ ($R^2 = 0{,}98$; F-критерий Фишера = 147).

За 10 недель хранения активность воды зефира, изготовленного с использованием и агара, и пектина, уменьшилась до 0,775 и 0,738 соответственно. За этот период активность воды зефира, приготовленного с применением желатина, сохранилась на относительно низком уровне (от 0,576 до 0,530), при котором скорость миграции влаги и риск микробиологической порчи минимальные.

Таким образом, скорость процессов влагопереноса для изделий, изготовленных с использованием желатина, наименьшая, что связано со свойствами белковых молекул удерживать влагу и с относительно небольшим градиентом концентрации влаги между атмосферой над изделием и окружающей средой.

Исследования сроков годности новых видов кондитерских изделий с применением сырья с различными характеристиками и нестабильным качеством требуют значительного времени, поэтому для прогнозирования срока годности изделий могут быть использованы методы ускоренного хранения.

Многие методы ускоренного старения пищевых продуктов основаны на повышении температуры хранения образцов. Например, при увеличении температуры до 50 °С процессы окислительной порчи протекают в 3–4 раза быстрее, чем при температуре 18 °С. Скорость процессов влагопереноса также зависит от температуры хранения и свойств упаковки [24].

Для оценки влияния повышения температуры на скорость процессов влагопереноса при хранении кондитерских изделий пенообразной структуры на примере зефира обоснована температура 28 °С, при которой изменения структуры белков минимальные и которая может быть достигнута при реализации изделий в торговых сетях.

Проведены исследования массовой доли влаги в образцах зефира на основе агара № 2, желатина и пектина в процессе хранения при температуре 28 °С (Рисунок 6).

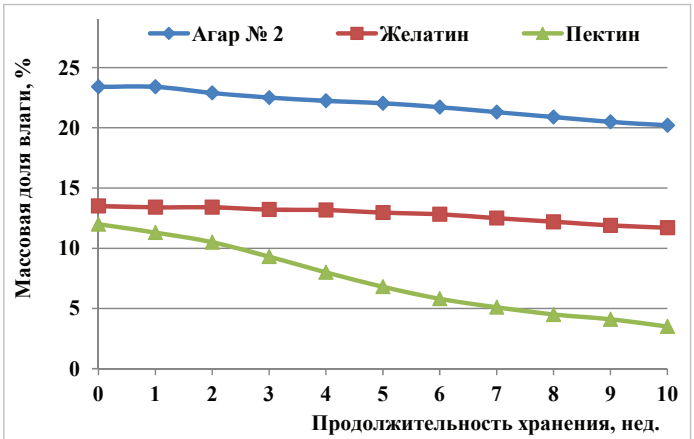


Рисунок 6. **Массовая доля влаги зефира в зависимости от времени хранения при температуре 28 °С**

Figure 6. **Mass fraction of moisture in zefir depending on the storage time at a temperature of 28 °C**

При повышении температуры хранения с 18 °С до 28 °С скорость процессов влагопереноса значительно увеличивается. Наличие амидных связей белков желатина обуславливает наилучшую влагоудерживающую способность изделий, изготовленных с использованием различных структурообразователей, в процессе их хранения.

Установлены математические зависимости изменения массовой доли влаги зефира, приготовленного с добавлением различных структурообразователей, которые характеризуются различным углами наклона (коэффициентами уравнений). Наименьший угол наклона имеет линейная зависимость образца зефира, изготовленного с использованием желатина в качестве структурообразователя: $W = -0{,}185\,\tau + 13{,}72$ ($R^2 = 0{,}94$; F-критерий Фишера = 47), где W — массовая доля влаги (%), а τ — длительность хранения (недели).

Математическая зависимость изменения массовой доли влаги зефира на основе агара имеет вид $W = -0{,}982\ \tau + 24{,}14$ ($R^2 = 0{,}99$; F-критерий Фишера = 297), а на основе пектина — $W = -0{,}908\ \tau + 11{,}89$ ($R^2 = 0{,}98$; F-критерий Фишера = 147).

Полученные зависимости позволяют рассчитать массовую долю влаги зефира, изготовленного с использованием структурообразователей, в заданный момент времени при различных температурах хранения.

Скорость процессов влагопереноса обусловлена градиентом содержания влаги в окружающей среде и внутри упаковки кондитерских изделий. Относительная влажность воздуха в климатической камере задана равной 50%, что при температуре 18 °С соответствует содержанию влаги 7,7 г/м³.

Активность воды зефира, изготовленного на основе агара (страна происхождения Китай), составила 0,795; с использованием пектина — 0,769; с добавлением желатина — 0,576.

Массовая доля влаги зефира, приготовленного на основе агара, упакованного в полипропиленовую пленку толщиной 30 мкм, в процессе хранения при температуре 28 °С уменьшилась за 10 недель хранения на 9,6%. Массовая доля влаги зефира на основе пектина уменьшилась на 7,5%. Потери влаги зефира на основе желатина составили только 1,8%.

Таким образом, использование желатина в качестве студнеобразователя при изготовлении зефира обусловило уменьшение скорости влагопереноса при повышении температуры хранения в 4,2–5,3 раза по сравнению с зефиром, изготовленным с использованием пектина и агара в качестве структурообразователей.

При повышении температуры хранения и скорости влагопереноса происходят соответствующие изменения активности (a_w) воды зефира (Рисунок 7).

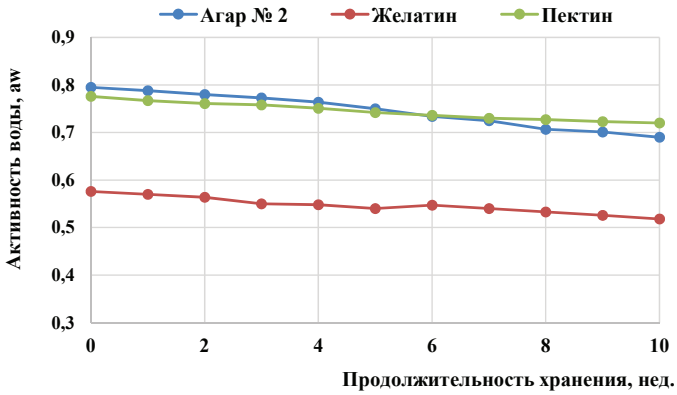


Рисунок 7. **Активность воды зефира, изготовленного с использованием различных структурообразователей, в зависимости от времени хранения при температуре 28 °С**

Figure 7. **The water activity of zefir made using various structure-forming agents depending on the storage time at a temperature of 28 °C**

При повышении температуры хранения до 28 °С наименьший угол наклона также имеет линейная зависимость активности воды от длительности хранения образца зефира, изготовленного с использованием желатина: $a_w = -0{,}0053\ \tau + 0{,}573$ ($R^2 = 0{,}94$; F-критерий Фишера = 47).

Для зефира на основе агара в качестве структурообразователя $a_w = -0{,}0111\ \tau + 0{,}802$ ($R^2 = 0{,}99$; F-критерий Фишера = 297); а на основе пектина: $a_w = -0{,}0057\ \tau + 0{,}773$ ($R^2 = 0{,}99$; F-критерий Фишера = 297).

При большой скорости потери влаги показатель активности воды зефира, изготовленного на основе пектина, уменьшился с 0,776 до 0,720, а активность воды зефира, изготовленного на основе агара, — с 0,795 до 0,690.

Установлено, что при повышении температуры хранения зефира, изготовленного с использованием различных структурообразователей, с 18 °С до 28 °С скорость влагопереноса увеличилась для зефира на основе агара в 2,7 раза, на основе пектина — в 3,0 раза, а на основе желатина — в 1,5 раза относительно традиционных условий хранения.

Для прогнозирования скорости процессов влагопереноса с учетом геометрических размеров упаковки образцов зефира на основе структурообразователей, упакованного в полипропиленовую пленку толщиной 30 мкм, в процессе хранения при температуре 18 °С рассчитаны коэффициенты диффузии с учетом статистической обработки результатов измерений (Таблица 2).

Таблица 2. **Коэффициенты диффузии зефира, изготовленного на основе различных структурообразователей, при температуре 18 °С**

Table 2. **Diffusion coefficients of zefir made on the basis of various structure-forming agents at a temperature of 18 °C**

Структурообразователь в составе зефира	Коэффициент диффузии, $м^2/с \times 10^{-11}$
Агар № 2	2,37 ± 0,05
Желатин	2,88 ± 0,09
Пектин	2,08 ± 0,09

Коэффициент диффузии для зефира на основе пектина является наименьшим. Зефир, изготовленный на основе желатина, имеет наибольший коэффициент диффузии. Однако фактическая скорость влагопереноса для последнего является наименьшей из-за минимального градиента активности воды, равного 7,6%. Поэтому обоснованный выбор структурообразователей позволяет управлять скоростью процессов влагопереноса, а значит, и сроком годности зефира и других кондитерских изделий пенообразной структуры.

Большой сегмент рынка кондитерских изделий занимают глазированные изделия пенообразной структуры. Глазирование зефира используется как с целью улучшения органолептических характеристик, так и для снижения скорости влагопереноса в процессе хранения. Исследована массовая доля влаги зефира, глазированного шоколадной глазурью, в процессе хранения при температуре 18 °С (Рисунок 8).

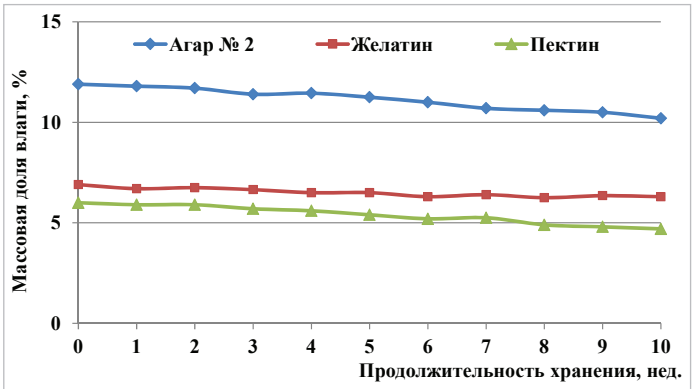


Рисунок 8. **Массовая доля влаги глазированного зефира в зависимости от времени хранения при температуре 18 °С**

Figure 8. **Mass fraction of moisture in glazed zefir depending on the storage time at a temperature of 18 °C**

За 10 недель хранения при температуре 18 °С массовая доля влаги образцов глазированного зефира с добавлением агара уменьшилась на 1,7%, с желатином — на 0,6%, с пектином — на 1,3%. Таким образом, глазирование образцов зефира привело к снижению скорости влагопереноса приблизительно в 2 раза.

Полученные результаты коррелируют с данными исследований повышения сохранности сложных кондитерских изделий, глазированных шоколадными покрытиями различного состава и толщины, применение которых позволяет значительно снизить потери влаги и скорость нежелательного перехода пенообразной структуры образцов из аморфного состояния в стекловидно-хрупкое [25].

Установленные закономерности влияния факторов сохранности на качество образцов зефира в процессе хранения могут быть использованы при проектировании и совершенствовании технологий кондитерских изделий пенообразной структуры с увеличенным сроком годности.

4. Выводы

Исследовано влияние различных факторов на показатели качества в процессе хранения зефира. При повышении температуры хранения зефира, изготовленного с использованием различных структурообразователей, с 18 °С до 28 °С скорость влагопереноса увеличилась для зефира на основе агара в 2,7 раза; пектина — в 3,0 раза, а желатина — только в 1,5 раза.

Установлены математические зависимости изменения массовой доли влаги и активности воды зефира, изготовленного с использованием различных структурообразователей.

Рассчитаны коэффициенты диффузии образцов зефира на основе структурообразователей с учетом градиента концентрации влаги в процессе хранения при температуре 18 °С.

Показана возможность применения метода инфракрасной спектроскопии для оценки качества различных партий агара при входном контроле, позволяющего оценить наличие амидных групп белков, обладающих влагоудерживающими свойствами.

Установлено, что скорость процессов влагопереноса для изделий, изготовленных с использованием желатина, наименьшая, что связано со свойствами белковых молекул удерживать влагу и относительно низким градиентом концентрации влаги между атмосферой над изделием и окружающей средой.

Глазирование кондитерских изделий пенообразной структуры позволяет уменьшить скорость влагопереноса приблизительно в 2 раза.

Гибкая корректировка химического состава сырья способствует изменениям внутренней пенообразной структуры, обеспечивающим заданный срок годности кондитерских изделий.

Закономерности влияния свойств структурообразователей на скорость процессов влагопереноса кондитерских изделий пенообразной структуры могут быть использованы для изготовления пастильных кондитерских изделий с заданным сроком годности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондратьев, Н. Б., Казанцев, Е. В., Осипов, М. В., Руденко, О. С., Белова, И. А. (2022). Прогнозирование срока годности зефира, глазированного шоколадной и кондитерской глазурями. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 6(390), 68–72. https://doi.org/10.26297/0579–3009.2022.6.15
2. Tan, J. M., Lim, M. H. (2008). Effects of gelatine type and concentration on the shelf-life stability and quality of marshmallows. *International Journal of Food Science and Technology,* 43(9), 1699–1704. https://doi.org/10.1111/j.1365–2621.2008.01756.x
3. Nepovinnykh, N. V., Klyukina, O. N., Kodatskiy, Y. A., Ptichkina, N. M., Yeganehzad, S. (2018). Study of the stability of foam and viscoelastic properties of marshmallow without gelatin. *Foods and Raw Materials*, 6(1), 90–98. https://doi.org/10.21603/2308–4057–2018–1–90–98
4. Казанцев, Е. В., Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С., Петрова, Н. А., Белова, И. А. (2022). Формирование пенообразной структуры кондитерских изделий. *Пищевые системы*, 5(1), 64–69. https://doi.org/10.21323/2618–9771–2022–5–1–64–69
5. Delahaije, R. J. B. M., Lech, F. J., Wierenga, P. A. (2019). Investigating the effect of temperature on the formation and stabilization of ovalbumin foams. *Food Hydrocolloids*, 91, 263–274. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.030
6. Zhao, Y., Chen, Z., Li, J., Xu, M., Shao, Y., Tu, Y. (2016). Formation mechanism of ovalbumin gel induced by alkali. *Food Hydrocolloids*, 61, 390–398. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.041
7. Duan, X., Li, M., Shao, J., Chen, H., Xu, X., Jin, Z. et al. (2018). Effect of oxidative modification on structural and foaming properties of egg white protein. *Food Hydrocolloids*, 75, 223–228. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.008
8. Cui, R., Zhu, F. (2021). Ultrasound modified polysaccharides: A review of structure, physicochemical properties, biological activities and food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 107, 491–508. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.018
9. Kontogiorgos, V. (2019). Polysaccharides at fluid interfaces of food systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 270, 28–37. https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.05.008
10. Li, Z., Zheng, S., Zhao, C., Liu, M., Zhang, Z., Xu, W. et al. (2020). Stability, microstructural and rheological properties of Pickering emulsion stabilized by xanthan gum/lysozyme nanoparticles coupled with xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules,* 165, 2387–2394. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.100
11. van den Berg, M. Jara, F. L., Pilosof, A. M. (2015). Performance of egg white and hydroxypropylmethylcellulose mixtures on gelation and foaming. *Food Hydrocolloids*, 48, 282–291. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.001
12. Periche, A., Heredia, A., Escriche, I., Andrés, A., Castelló, M. L. (2015). Potential use of isomaltulose to produce healthier marshmallows. *LWT — Food Science and Technology*, 62(1, Part 2), 605–612. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.024
13. Pertsevoy, F. V., Gurskyi, P. V., Vasylenko, P., Ladyka, V. I., Ianchyk, M. V., Krapivnytska, I. O. et al. (2021). Food technology using structurants: the monograph Kharkiv: Dissa+. Ukraine. 2021.
14. Yang, X., Li, A., Li, X., Sun, L., Guo, Y. (2020). An overview of classifications, properties of food polysaccharides and their links to applications in improving food textures. *Trends in Food Science and Technology*, 102, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.020
15. Tsykhanovska, I., Yevlash, V., Alexandrov, A., Alibekov, R. (2021). Influence of the mineral food nanoadditive "Magnetofood" on the quality indicators of whipped confectionery products. *BIO Web of Conferences,* 30, Article 01022. https://doi.org/10.1051/bioconf/20213001022
16. Saboonchi, S., Mehran, A., Bahramizadeh P., Massoud, R. (July 17–18, 2021). *Applications of modified starch in food*. 3rd international congress on Engineering, Technology and Innovation, 1–8.
17. Zhao, Y., Cao, D., Shao, Y., Xiong, C., Li, J., Tu, Y. (2020). Changes in physicochemical properties, microstructures, molecular forces and gastric digestive properties of preserved egg white during pickling with the regulation of different metal compounds. *Food Hydrocolloids*, 98, 105281. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105281
18. Iqra, R., Asma, T., Usmanghani, K., Aliya, R. (2019). Fourier transform infrared (ft-ir) spectroscopy of agar from red seaweeds of Karachi coast. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 16(1), 59–63.
19. Кондратьев, Н. Б., Казанцев, Е. В., Осипов, М. В., Петрова, Н. А., Руденко, О. С. (2019). Исследование процесса влагопереноса в сырцовых пряниках с фруктовой начинкой, изготовленных с использованием различных видов модифицированного крахмала. *Хранение и переработка сельхозсырья,* 4, 35–46. https://doi.org/10.36107/spfp.2019.187
20. Попова, Д. Г., Резниченко, И. Ю., Табаторович, А. Н. (2020). Исследование влияния сроков хранения на показатели качества пастильных изделий. *АПК России*, 27(5), 853–859.
21. Кондратова, И. И., Томашевич, С. Е., Кононович, В. М., Шостак, Л. М. (2014). Исследование процессов черствения зефира, обогащенного пищевыми волокнами. *Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук,* 2, 110–115.
22. Барсукова, И. Г. (2017). Разработка технологии пастильных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности и срока годности в низком ценовом сегменте. Автореф. дис. канд. техн. наук. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий. — 24 с.
23. Cebi, N., Durak, M. Z., Toker, O. S., Sagdic, O., Arici, M. (2016). An evaluation of Fourier transforms infrared spectroscopy method for the classification and discrimination of bovine, porcine and fish gelatins. *Food Chemistry*, 190, 1109–1115. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.065
24. Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С., Осипов, М. В., Баженова, А. Е. (2022). Прогнозирование срока годности кондитерских изделий в условиях ускоренного хранения: обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 4, 22–39. https://doi.org/10.36107/spfp.2022.354
25. Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. https://doi.org/10.1080/10408390802248833

REFERENCES

1. Kondratev, N. B., Kazantsev, E. V., Osipov, M. V., Rudenko, O. S., Belova, I. A. (2022). Forecasting the storage capacity of marshmallows glazed with chocolate and confectionery glazes. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 6(390), 68–72. https://doi.org/10.26297/0579–3009.2022.6.15 (In Russian)
2. Tan, J. M., Lim, M. H. (2008). Effects of gelatine type and concentration on the shelf-life stability and quality of marshmallows. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(9), 1699–1704. https://doi.org/10.1111/j.1365–2621.2008.01756.x
3. Nepovinnykh, N. V., Klyukina, O. N., Kodatskiy, Y. A., Ptichkina, N. M., Yeganehzad, S. (2018). Study of the stability of foam and viscoelastic properties of marshmallow without gelatin. *Foods and Raw Materials*, 6(1), 90–98. https://doi.org/10.21603/2308–4057–2018–1–90–98
4. Kazantsev, E. V., Kondratev, N. B., Rudenko, O. S., Petrova, N. A., Belova, I. A. (2022). Formation of a foamy structure of confectionery pastille products. *Food Systems*, 5(1), 64–69. https://doi.org/10.21323/2618–9771–2022–5–1–64–69 (In Russian)
5. Delahaije, R. J. B. M., Lech, F. J., Wierenga, P. A. (2019). Investigating the effect of temperature on the formation and stabilization of ovalbumin foams. *Food Hydrocolloids*, 91, 263–274. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.030
6. Zhao, Y., Chen, Z., Li, J., Xu, M., Shao, Y., Tu, Y. (2016). Formation mechanism of ovalbumin gel induced by alkali. *Food Hydrocolloids*, 61, 390–398. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.041
7. Duan, X., Li, M., Shao, J., Chen, H., Xu, X., Jin, Z. et al. (2018). Effect of oxidative modification on structural and foaming properties of egg white protein. *Food Hydrocolloids*, 75, 223–228. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.008
8. Cui, R., Zhu, F. (2021). Ultrasound modified polysaccharides: A review of structure, physicochemical properties, biological activities and food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 107, 491–508. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.018
9. Kontogiorgos, V. (2019). Polysaccharides at fluid interfaces of food systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 270, 28–37. https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.05.008
10. Li, Z., Zheng, S., Zhao, C., Liu, M., Zhang, Z., Xu, W. et al. (2020). Stability, microstructural and rheological properties of Pickering emulsion stabilized by xanthan gum/lysozyme nanoparticles coupled with xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2387–2394. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.100
11. van den Berg, M. Jara, F. L., Pilosof, A. M. (2015). Performance of egg white and hydroxypropylmethylcellulose mixtures on gelation and foaming. *Food Hydrocolloids*, 48, 282–291. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.001
12. Periche, A., Heredia, A., Escriche, I., Andrés, A., Castelló, M. L. (2015). Potential use of isomaltulose to produce healthier marshmallows. *LWT — Food Science and Technology*, 62(1, Part 2), 605–612. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.024
13. Pertsevoy, F. V., Gurskyi, P. V., Vasylenko, P., Ladyka, V. I., Ianchyk, M. V., Krapivnytska, I. O. et al. (2021). Food technology using structurants: the monograph Kharkiv: Dissa+. Ukraine. 2021.
14. Yang, X., Li, A., Li, X., Sun, L., Guo, Y. (2020). An overview of classifications, properties of food polysaccharides and their links to applications in improving food textures. *Trends in Food Science and Technology*, 102, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.020
15. Tsykhanovska, I., Yevlash, V., Alexandrov, A., Alibekov, R. (2021). Influence of the mineral food nanoadditive "Magnetofood" on the quality indicators of whipped confectionery products. *BIO Web of Conferences,* 30, Article 01022. https://doi.org/10.1051/bioconf/20213001022

16. Saboonchi, S., Mehran, A., Bahramizadeh P., Massoud, R. (July 17–18, 2021). *Applications of modified starch in food*. 3rd international congress on Engineering, Technology and Innovation, 1–8.
17. Zhao, Y., Cao, D., Shao, Y., Xiong, C., Li, J., Tu, Y. (2020). Changes in physicochemical properties, microstructures, molecular forces and gastric digestive properties of preserved egg white during pickling with the regulation of different metal compounds. *Food Hydrocolloids*, 98, 105281. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105281
18. Iqra, R., Asma, T., Usmanghani, K., Aliya, R. (2019). Fourier transform infrared (ft-ir) spectroscopy of agar from red seaweeds of Karachi coast. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 16(1), 59–63.
19. Kondratyev N. B., Kazancev E. V., Osipov M. V., Petrova N. A., Rudenko O. S. (2019). Research of the moisture transfer processes in gingerbread with fruit filling produced using various types of modified starch. *Storage and Processing of Farm Products*, 4, 35–46. https://doi.org/10.36107/spfp.2019.187 (In Russian)
20. Popova, D. G., Reznichenko, I. Yu., Tabatorovich, A. N. (2020). Studying the influence of shelf life on the quality indicators of pastilles. *Agro-Industrial Complex of Russia*, 27(5), 853–859. (In Russian)
21. Kondratova, I. I., Tomashevich, S. E., Kononovich, V. M., Shostak, L. M. (2014). Research on staling of marshmallow soufflé enriched in food fibres. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Agrarian Series,* 2, 110–115. (In Russian)
22. Barsukova, I. G. (2017). Development of technology for pastille confectionery products of increased nutritional value and shelf life in the low price segment. Author's abstract of the dissertation for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies. — 24 p. (In Russian)
23. Cebi, N., Durak, M. Z., Toker, O. S., Sagdic, O., Arici, M. (2016). An evaluation of Fourier transforms infrared spectroscopy method for the classification and discrimination of bovine, porcine and fish gelatins. *Food Chemistry*, 190, 1109–1115. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.065
24. Kondratiev, N. B., Rudenko, O. S., Osipov, M. V., Bazhenova, A. E. (2022). Forecasting the helf life of confectionery products under accelerated storage conditions: Scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, 4, 22–39. https://doi.org/10.36107/spfp.2022.354 (In Russian)
25. Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and Shelf Life in Sugar Confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. https://doi.org/10.1080/10408390802248833

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Кондратьев Николай Борисович — доктор технических наук, главный научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электрозаводская, д. 20 Тел.: + 7–495–963–54–75 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–332–9621 * автор для контактов	**Nikolay B. Kondratev**, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Department of Modern Methods of Quality Assessment of Confectionery Products, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: + 7–495–963–54–75 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–332–9621 * corresponding author
Руденко Оксана Сергеевна — кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электрозаводская, д. 20 Тел.: +7–495–962–17–40 E-mail: oxana0910@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–2436–4100	**Oxana S. Rudenko**, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Scientific Work, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7–495–962–17–40 E-mail: oxana0910@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–2436–4100
Казанцев Егор Валерьевич — научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электрозаводская, д. 20 Тел.: +7–926–545–32–76 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/ 0000–0001–8923–0029	**Egor V. Kazantsev**, Researcher, Department of Modern Methods of Quality Assessment of Confectionery Products, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7–926–545–32–76 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/ 0000–0001–8923–0029
Белова Ирина Александровна — научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электрозаводская, д. 20 Тел.: +7–916–849–23–42 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8025–952X	**Irina A. Belova**, Researcher, Department of Modern Methods of Quality Assessment of Confectionery Products, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Тел.: +7–916–849–23–42 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8025–952X
Петрова Наталья Александровна — научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электрозаводская, д. 20 Тел.: +7–926–538–59–33 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8475–1415	**Natalya A. Petrova**, Researcher, Department of Modern Methods of Quality Assessment of Confectionery Products, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Тел.: +7–926–538–59–33 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8475–1415

Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-350-357

Поступила 02.08.2023
Поступила после рецензирования 01.09.2023
Принята в печать 08.09.2023
© Абрамова Л. С., Козин А. В., Гусева Е. С., Лаврикова К. А., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

ОЦЕНКА ВКУСОВЫХ КАЧЕСТВ ЛОСОСЯ АТЛАНТИЧЕСКОГО МЕТОДОМ ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ

Абрамова Л. С., Козин А. В.*, Гусева Е. С., Лаврикова К. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
свободные аминокислоты, термическая обработка, бульон, нуклеотиды, вкус умами, индекс вкуса, порог вкуса

АННОТАЦИЯ

Методом ^{1}H-ЯМР-спектроскопии проведено изучение метаболического профиля мышечной ткани атлантического лосося в процессе термической обработки и при хранении для оценки вкусовых качеств продукции. Установлено, что при варке рыбы на пару количество таких соединений, как триметиламин (TMA), таурин (Tau), глютаминовая кислота (Glu), лизин (Lys), пролин (Pro), серин (Ser), γ-аминомасляная кислота (GABA), креатинин (Cret), увеличивается в бульоне, по сравнению с сырой рыбой, а в вареной рыбе накапливается содержание Tau и Cret. Содержание TMA, который придает рыбный запах продукции, резко возрастает в вареной рыбе независимо от времени варки, одновременно наблюдается увеличение в вареной рыбе диметиламина (DMA). Проведена обработка массива данных содержания метаболитов методом главных компонент, и выявлено четкое разделение образцов рыбы и бульона, а также отличие рыбы длительного хранения от исходного образца. Вкусовые качества рыбного сырья до и после термической обработки оценены с использованием показателей индекса вкуса (ИВ) основных соединений, характеризующих сладкий, горький, кислый вкус, а также вкус умами. Для расчетов взяты значения порога вкуса соединений, которые широко применяются для комплексной оценки различной пищевой продукции. Значение ИВ для бульона при варке лосося атлантического на пару в течение 30 мин составляло 6,27 ± 0,06, а с увеличением времени до 60 мин уменьшилось до 5,61 ± 0,09. При длительном хранении рыбы происходило резкое снижение показателя вкуса умами и увеличение горького вкуса, что обусловлено гидролитическими процессами, проходящими при порче продукта. Сделан вывод, что метод ЯМР-спектроскопии позволяет количественно оценить изменение основных метаболитов в образцах лосося атлантического в процессе термической обработки и при хранении. Также установлено, что показатели ИВ, рассчитанные по содержанию свободных аминокислот, нуклеотидов и органических кислот, дают объективную характеристику вкусовых качеств продукции.

Received 02.08.2023
Accepted in revised 01.09.2023
Accepted for publication 08.09.2023
© Abramova L. S., Kozin A. V., Guseva E. S., Lavrikova K. A., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

ASSESSMENT OF THE PALATABILITY OF ATLANTIC SALMON BY NMR SPECTROSCOPY

Liubov S. Abramova, Andrei V. Kozin*, Elena S. Guseva, Kira A. Lavrikova

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

KEY WORDS:
free amino acids, heat treatment, broth, nucleotides, umami taste, taste index, taste threshold

ABSTRACT

^{1}H-NMR spectroscopy was used to study the metabolic profile of Atlantic salmon muscle tissue during heat treatment and storage to assess the taste of products. It has been established that when steaming fish, the amount of compounds such as trimethylamine (TMA), taurine (Tau), glutamic acid (Glu), lysine (Lys), proline (Pro), serine (Ser), γ-aminobutyric acid (GABA), creatinine (Cret) increased in broth compared to raw fish, and Tau and Cret accumulated in cooked fish. The content of TMA, which gives a fishy smell to the product, increased dramatically in cooked fish, regardless of the cooking duration, and at the same time an increase in dimethylamine (DMA) was observed in cooked fish. The processing of the data array of the content of metabolites by the method of principal components was carried out and a clear separation of fish and broth samples was revealed, as well as the difference between fish stored for a long time and the original sample. The taste qualities of fish raw materials before and after heat treatment were evaluated using the taste active value (TAV) of the main compounds characterizing sweet, bitter, sour tastes, as well as umami taste. The values of the taste threshold of compounds, which are widely used for a comprehensive assessment of various food products, were taken for calculations. The TAV for the broth when steaming Atlantic salmon for 30 min was 6.27 ± 0.06, and with an increase in time to 60 min, it decreased to 5.61 ± 0.09. During long-term storage of fish, there was a sharp decrease in the umami taste index and an increase in bitter taste, which is due to hydrolytic processes occurring during product spoilage. It is concluded that the NMR spectroscopy method makes it possible to quantify the change in the main metabolites in Atlantic salmon samples during heat treatment and storage, and TAV calculated from the content of free amino acids, nucleotides and organic acids provides an objective description of the taste of the product.

1. Введение

В последнее время все больше внимания уделяется решению проблемы обеспечения потребителя безопасной продукцией, отвечающей его запросам и ожиданиям. Вкусовые качества продукта (вкус, аппетитность) являются значимым показателем, определенным в стандарте ГОСТ ISO 5492–2014[1], согласно которому вкусовые качества отражают приятные свойства продукта и его пригодность для потребления в пищу или питье. Особенно важно оценить эту составляющую качества продукции в процессе технологической или кулинарной обработки при изменяющихся условиях хранения для оценки хранимоспособности продукции. Наиболее доступным является органолептический анализ, то есть исследование с помощью органов чувств, но главным недостатком такого анализа является субъективность получаемых результатов.

Использование современной приборной базы для оценки вкусовых качеств продукции является важным направлением как в научных исследованиях, так и в производственной практике. Однако необ-

[1] ГОСТ ISO 5492–2014 «Органолептический анализ. Словарь» — М.: Стандартинформ, 2020. — 49 с.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Абрамова, Л. С., Козин, А. В., Гусева, Е. С., Лаврикова, К. А.** (2023). Оценка вкусовых качеств лосося атлантического методом ЯМР-спектроскопии. *Пищевые системы,* 6(3), 350-357. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-350-357

FOR CITATION: **Abramova, L. S., Kozin, A. V., Guseva, E. S., Lavricova, K. A.** (2023). Assessment of the palatability of Atlantic salmon by NMR spectroscopy. *Food Systems*, 6(3), 350-357. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-350-357

ходимо обеспечить создание биосенсоров, мультисенсорных систем, а также разработать спектроскопические методы анализа [1,2].

В практике исследований находит все большее применение мультисенсорная система типа «электронный язык», имеющая различное целевое назначение, в том числе и для оценки пищевой продукции в процессе кулинарной обработки [3,4]. В настоящее время указанные устройства пока не получили широкого распространения в практических приложениях по ряду причин, главным образом обусловленных сложностью постоянной многомерной калибровки, необходимой при решении специальной задачи [5].

Развивающимся направлением исследований для объективной оценки пищевой продукции является изучение роли свободных аминокислот, пептидов, органических кислот при исследовании вкусовых качеств продукта. Проведен анализ влияния цикличного изменения температуры хранения мороженого филе тиляпии с — 20 °С до — 10 °С на вкусовые качества продукции путем определения содержания свободных аминокислот методом многомерной инфракрасной спектроскопии. Установлено, что после девятого цикла изменения температуры хранения общее содержание свободных аминокислот увеличилось в 1,30 раза, достигнув максимального уровня (611,16 ± 73,60 мг/100 г); в том числе возросло количество аминокислот, придающих продукции вкус умами [6]. На примере оценки интенсивности вкуса супа из баранины показано, что добавление курдючного жира и экстракта перца непальского приводит к усилению вкуса за счет содержания треонина (Thr), аспарагиновой кислоты (Asp) и пяти органических кислот: щавелевой, молочной (La), лимонной, янтарной (SA) и аскорбиновой [7]. При варке говядины добавление специй, соли и сахарозы способствовало увеличению содержания свободных аминокислот в говяжьем бульоне и усилению его вкуса. Значения индекса вкуса Asp, Glu, Pro, аланина (Ala), валина (Val), метионина (Meth), аргинина (Arg) и винной кислоты были больше 1 в образце бульона, сваренного с добавлением специй и масла [8]. Исследовано влияние методов обработки на вкусовые качества ветчины путем определения метаболического профиля продукции и оценки вклада метаболитов на показатели качества ветчины, полученной как по традиционной технологии, так и с использованием новых технологических подходов. Установлено, что Glu, La, глицин (Gln), ансерин (Ans) и креатин (Cre) вносят наибольший вклад в интенсивность вкуса и насыщенность ветчины, изготовленной по усовершенствованному способу [9]. Динамика изменения вкуса ветчины из свиной корейки исследована с использованием современных сенсорных технологий, таких как «электронный нос» и «электронный язык», и подтверждена результатами определения свободных аминокислот и расчетом индекса вкуса. Результаты показали, что общее содержание свободных аминокислот достигло максимального значения на 35-й день созревания ветчины, а аминокислоты, придающие продукту вкус умами, имели наибольшие значения на всех этапах изготовления ветчины. Установлено, что индекс вкуса аминокислот достоверно коррелирует с сенсорной оценкой ветчины, проведенной с использованием «электронного языка» [10].

Согласно литературным данным, наличие аминокислот Pro, Thr, Ser, Ala и глутамина (Gly) придает сладкий вкус продукту, в то время как Tau, триптофан (Trp), лейцин (Leu), фенилаланин (Phe), изолейцин (Ile), Meth, тирозин (Tyr), Val, Arg, гистидин (His), а также соединения инозин (Ino) и гипоксантин (Hx) усиливают привкус горечи [11,12,13]. Наибольший вклад в формирование вкуса продукта вносят аминокислоты, образующие вкус умами, который определяется в основном содержанием Glu или ее солей, а также инозин-5-монофосфатом (IMP). Присутствие в составе Asp также учитывается в комплексной оценке вкуса умами [14]. При изучении вкуса пищевых продуктов широко применяется метод расчета ИВ исходя из содержания свободных аминокислот и нуклеотидов. Этот показатель отражает вклад отдельного соединения в общий вкус продукта. Он определяется как отношение концентрации соединения в продукте к его пороговому значению (к минимальной концентрации, при которой *соединение* может быть воспринято) [15]. Такой подход был принят для исследования зависимости изменения химических показателей икры морского ежа в процессе холодильного хранения и общего вкуса продукта. Показано, что аминокислоты, придающие сладкий вкус, умами и горечь вносят значительный вклад во вкусовое восприятие продукта в целом, в том числе и в процессе хранения [11].

Проведена оценка компонентов вкуса при классификации 29 специй с использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) путем определения содержания свободных аминокислот, нуклеотидов и органических кислот в этих специях и расчета индекса вкуса каждого компонента [16]. Результаты показали значительные различия в общем количестве свободных аминокислот (1,12–31,59 г/кг), органических кислот (9,63–71,90 г/кг) и нуклеотидов (0,03–2,72 г/кг) в рассмотренных специях. Установлено, что девять аминокислот, особенно Glu и Arg, имеют ИВ выше, чем 1. Исходя из значений индекса вкуса SA, щавелевой, винной и аскорбиновой кислот показано, что они также вносят значительный вклад в общий вкус специй. В соответствии с кластерным анализом полученных данных проведена классификация специй на две категории.

Представляют интерес исследования по определению содержания органических кислот в матрице пищевых продуктов, которые были использованы для оценки органолептических показателей пищевых продуктов, для идентификации происхождения, контроля качества, а также с целью обеспечения основы для разработки рецептур новых видов продукции [17,18]. Главная цель исследований заключалась в комплексной оценке вкусовых характеристик и механизма восприятия кислого вкуса органических кислот путем расчета индекса вкуса La, уксусной (AA), SA и фумаровой (Fu) кислот. Показано, что органические кислоты участвуют в энергетическом обмене у растений и животных и влияют на вкус пищевых продуктов как вкусовые вещества и предшественники аромата. Сделан вывод о снижении содержания органических кислот в продуктах при различных способах нагревания (тушение, автоклавирование, приготовление на пару).

Для идентификации и количественного определения свободных аминокислот, нуклеотидов и нуклеозидов при оценке вкусовых качеств пищевой продукции используют различные методы, в том числе и метод ядерно-магнитной спектроскопии. Метаболомика на основе ^{1}H-ЯМР спектроскопии позволяет идентифицировать и количественно определить большой спектр соединений [19,20].

В связи с вышеизложенным интерес представлял анализ вкусовых свойств рыбного сырья после тепловой обработки и в процессе хранения с использованием показателей индекса вкуса основных метаболитов и предлагаемых подходов для органолептической оценки рыбной продукции.

Цель работы — изучение метаболического профиля мышечной ткани атлантического лосося в процессе термической обработки и при хранении методом ^{1}H-ЯМР спектроскопии для оценки вкусовых качеств продукции.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определить метаболический профиль образцов лосося атлантического методом ЯМР-спектроскопии;
- оценить изменение основных метаболитов лосося атлантического при термической обработке и в процессе хранения;
- изучить изменение показателей индекса вкуса лосося атлантического в процессе термической обработки и при хранении.

2. Материалы и методы

В качестве объектов исследований использовали образцы атлантического лосося *(Salmo salar)* из естественной среды обитания, заготовленные в Мурманской области на реке Тулома 19.07.2022. Образцы отбирали от свежевыловленной рыбы, охлаждали и замораживали. Хранение осуществляли при температуре минус 18 °С в течение 4 месяцев.

В исходном образце № 1 определяли содержание воды по ГОСТ 7636–85[2] и количество белка по ФР.1.31.2020.38483[3]. Для исследования использовали одну среднюю пробу из четырех рыб, далее ее делили на 4 части.

При изучении влияния термической обработки (варки) на вкусовые качества рыбы часть образца № 1 отварили на пару в специальных пакетах, предназначенных для варки, в течение 30 минут, получив таким образом образец № 2. Вторую часть образца № 1 подвергали термообработке в течение 60 мин, в результате чего получили образец № 4. Образовавшийся бульон в пакете собирали отдельно и анализировали: № 3 — бульон образца № 2, № 5 — бульон образца № 4.

Кроме того, исследовали образец (третья и четвертая часть образца № 1), который хранился в холодильнике при температуре + 2 °С в течение 23 суток: третья часть — образец № 6 (до варки), и четвертая часть — образец № 7 (после варки на пару в течение 30 мин).

Для экстракции водорастворимых полярных метаболитов 25 г гомогенизированной мышечной ткани заливали 50 мл 7,5% раствор ТХУ, перемешивали в гомогенизаторе и фильтровали через бумажный фильтр. Фильтрат нейтрализовали 9 М раствором КОН до значения pH 7,4, фильтровали через бумажный фильтр (№ 1)

[2] ГОСТ 7636–85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа». — М.: Стандартинформ, 2010. — 85 с.

[3] ФР.1.31.2020.38483 МИ 002–2020 «Методика измерения массовой доли белка методом Кьельдаля»

и центрифугировали при температуре + 4 °С и 10000 об/мин в течение 10 мин. Аликвоту полученного раствора в количестве 500 мкл переносили пипеткой в стандартную ЯМР-ампулу диаметром 5 мм, добавляли 50 мкл раствора TSP (3-(trimethilsilyl)-propionic-2,2,3,3-d4 acid sodium salt) в D_2O с концентрацией 0,5 ммоль/л (в качестве внутреннего стандарта) и регистрировали на приборе Bruker Avance III (Bruker Biospin Gmbh, Германия) с рабочей частотой по протонам 600 МГц при 303 К. Обработку спектров проводили с использованием программного обеспечения TopSpin 3.6.1 (Bruker BioSpin, США), идентификацию и количественное определение метаболитов — с применением Chenomx NMR Suite 9.02 (Chenomx Inc, Канада), а также сопоставляя международные базы данных: Human Metabolome Database (http://www.hmdb.ca/), Biological Magnetic Resonance Data Bank (http://www.bmrb.wisc.edu/metabolomics/) и публикации [19,20]. Обработку данных проводили при помощи Origin Pro 2021 (OriginLab Corporation).

Все результаты приведены как среднее арифметическое ± среднее квадратичное отклонение. Достоверно различающиеся средние значения рассчитаны согласно распределению Стьюдента при $p \leqslant 0{,}05$.

3. Результаты и обсуждение

Проведено изучение содержания основных метаболитов методом ЯМР спектроскопии в экстрактах мышечной ткани атлантического лосося. В результате обработки ^{1}H-ЯМР спектров идентифицировано и определено количественное содержание ряда аминокислот, нуклеотидов, нуклеозидов, азотистых соединений (Рисунок 1, Таблица 1).

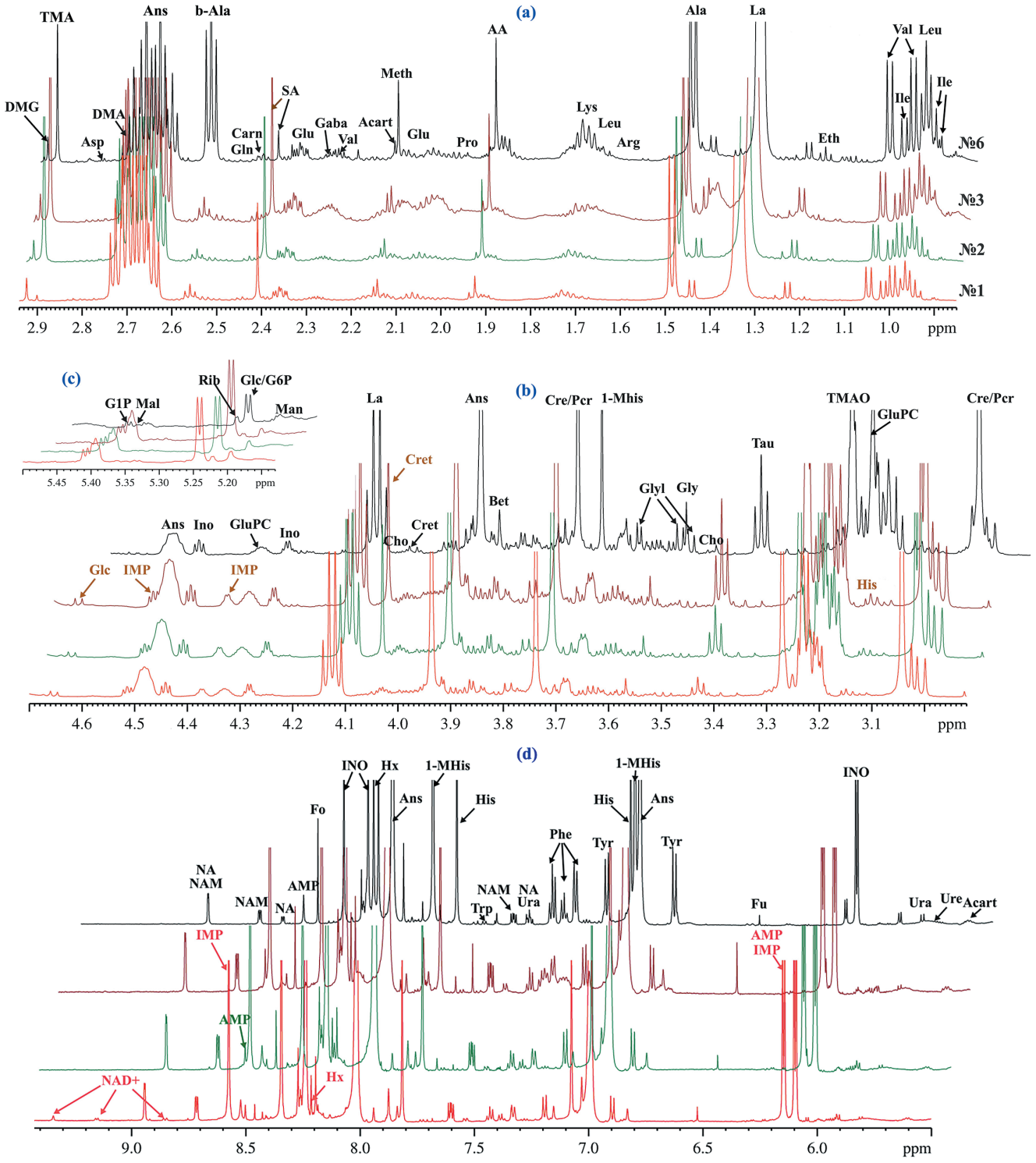


Рисунок 1. **^{1}H-ЯМР-спектры экстрактов мышечной ткани образцов атлантического лосося: (a) — высокопольная область спектра; (b) и (c) — среднепольная область спектра; (d) — низкопольная область спектра**

Figure 1. ^{1}H-NMR spectra of the muscle tissue extracts of Atlantic salmon samples: (a) — high-field region of the spectrum; (b) and (c) — mid-field region of the spectrum; (d) — low-field region of the spectrum

Таблица 1. **Содержание идентифицированных метаболитов в образцах атлантического лосося**

Table 1. **Content of identified metabolites in the Atlantic salmon samples**

№ п/п	Наименование метаболита	Химические сдвиги (ppm), структурный фрагмент	Содержание, мг/100 г, в образце						
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
		Незаменимые аминокислоты							
1	Лейцин Leu	**0,95 t [**δCH_3]	3,50±0,04	3,96±0,06[1]	6,10±0,25[1]	4,07±0,19	6,17±0,46[1]	8,39±0,20[1]	9,83±0,47[1]
2	Изолейцин Ile	**1,01 d** [$\beta' CH_3$]	2,36±0,03	2,29±0,04	3,21±0,02[1]	2,28±0,05	2,86±0,05[1]	4,32±0,07[1]	4,60±0,08[1]
3	Валин Val	0,99 d [γCH_3]; **1,04 d [**$\gamma' CH_3$]	3,76±0,02	3,70±0,02	5,35±0,03[1]	3,66±0,03	4,51±0,02[1]	8,93±0,07[1]	9,80±0,05[1]
4	Метионин Meth	**2,14 s [**SCH_3]	1,16±0,02	1,12±0,02	1,77±0,10[1]	1,15±0,05	1,75±0,19[1]	3,98±0,07[1]	5,32±0,09[1]
5	Лизин Lys	1,47 m [γCH_2]; **1,73 m [**δCH_2]; 1,91 m [βCH_2]	2,47±0,04	1,96±0,07[1]	5,23±0,51[1]	3,14±0,21[1,2]	4,99±0,66[1]	9,61±0,18[1]	13,85±0,67[1]
6	Треонин Thr	**4,26 m [**βCH]	5,38±0,26	6,52±0,33	7,49±0,55[1]	4,61±0,37[2]	7,73±0,72[1]	9,86±0,48[1]	13,34±0,45[1]
7	Фенилаланин Phe	**7,33 d** [$(CH)_2$]; 7,37 t **[**CH, ring]; 7,43 t **[**$(CH)_2$, ring]	1,10±0,01	1,17±0,01[1]	1,43±0,01[1]	1,07±0,01[2]	1,29±0,01[1]	5,25±0,05[1]	5,36±0,03[1]
8	Триптофан Trp	7,28 t **[**CH, ring]; 7,54 d **[**CH, ring]; **7,73 d [**CH, ring]	0,30±0,01	0,30±0,01	0,44±0,01[1]	0,29±0,02	0,29±0,02	0,76±0,01[1]	0,62±0,02[1]
9	Тирозин Tyr	6,89 d **[**$(CH)_2$, ring]; **7,19 d [**$(CH)_2$, ring]	1,96±0,03	2,19±0,04[1]	2,88±0,04[1]	2,33±0,04[1]	2,62±0,03[1]	6,66±0,07[1]	6,69±0,07[1]
		Заменимые аминокислоты							
10	Аланин Ala	**1,48 d [**βCH_3];	12,00±0,07	13,79±0,09[1]	18,00±0,29[1]	13,63±0,09[1]	17,75±0,08[1]	21,44±0,07[1]	21,38±0,08[1]
11	Гистидин His	**7,06 s [NCH];** **7,79 s** [NCHN]	13,28±0,04	12,79±0,07[1]	18,27±0,21[1]	14,23±0,16[1,2]	15,90±0,18[1]	18,12±0,11[1]	20,22±0,09[1]
12	Глицин Gly	**3,56 s [**αCH_2]	3,78±0,05	3,92±0,07	4,97±0,06[1]	3,31±0,07[1,2]	4,84±0,07[1]	7,14±0,09[1]	7,34±0,09[1]
13	Таурин Tau	3,25 t **[**NCH_2]; **3,42 t [**SCH_2]	15,18±0,17	26,35±0,53[1]	70,66±0,27[1]	39,92±0,39[1,2]	65,28±0,34[1]	55,91±0,24[1]	61,67±0,38[1]
14	Глутамин Gln	**2,45 m [**γCH_2]	0,32±0,06	0,32±0,15	0,48±0,19	0,32±0,21	0,32±0,27	0,65±0,14	0,74±0,14
15	Глютаминовая кислота Glu	2,08 m**[**βCH_2]; **2,35 t [**γCH_2]	6,66±0,09	6,27±0,13	13,73±0,60[1]	6,39±0,57	15,28±1,28[1]	6,81±0,19	8,38±0,54[1]
16	Аспарагиновая кислота Asp	2,68 m; **2,81 dd** [βCH_2]	0,18±0,06	0,87±0,13[1]	0,24±0,15	0,19±0,05[2]	1,18±0,20[1]	1,25±0,09[1]	1,64±0,14[1]
17	Аргинин Arg	**1,69 m [**γCH_2]; 1,91 m [βCH_2]	1,95±0,05	1,59±0,05[1]	2,25±1,18	1,99±0,32	2,62±1,80	6,23±0,40[1]	15,04±1,21[1]
18	Пролин Pro	**2,01 m [**CH]; 3,38 m [NCH]	0,85±0,05	0,99±0,13	4,20±0,42[1]	2,12±0,28	3,26±0,17[1]	3,32±0,21	5,40±0,43
19	Серин Ser	**3,96 m [**βCH_2]	7,46±0,75	7,46±0,82	14,44±1,44[1]	9,62±1,08	20,23±2,08[1]	7,12±0,34	10,13±0,64
		Прочие аминокислоты и их производные							
20	β-Аланин β-Ala	**2,56 t [**αCH_2]	2,09±0,05	1,47±0,08[1]	2,75±0,10[1]	1,40±0,08[1]	2,43±0,10[1]	23,48±0,10[1]	23,13±0,24[1]
21	γ-Аминомасляная кислота GABA	**2,30 t [**αCH_2]	0,08±0,01	0,23±0,03[1]	1,51±0,32[1]	0,53±0,25	2,94±0,59[1]	0,65±0,05[1]	1,44±0,20[1]
22	Диметилглицин DMG	**2,92 s [**$(CH_3)_2$]	0,49±0,00	0,36±0,03[1]	0,51±0,02	0,30±0,04[1]	0,39±0,03[1]	0,42±0,01[1]	0,43±0,04
		Производные имидазола (глюксилиновые основания)							
23	Ансерин Ans	2,67 m [$^{12}CH_2$]; 3,09 dd [βCH_2]; 3,21 m [$^{11}CH_2$]; **3,71 s** [CH_3]; 4,47 m[CH, rib]; 6,99 s [CH, his;], 8,04 s [CH, his],	310,99±2,10	310,99±0,91	394,44±2,08[1]	288,68±1,89[1,2]	338,28±1,39[1]	171,94±0,71[1]	193,47±1,47[1]
24	1-метилгистидин 1-Mhis	7,01 s [^5CH]; **7,67 s** [^2CH]	3,12±0,06	2,31±0,06[1]	4,70±0,12[1]	2,41±0,07[1]	3,56±0,12[1]	54,14±0,54[1]	64,39±0,55[1]
		Органические кислоты							
25	Молочная кислота La	1,34 d [βCH_3]; **4,13 q [**αCH]	291,99±1,24	277,95±0,64[1]	383,41±3,45[1]	264,29±1,60[1,2]	338,11±1,47[1]	207,63±1,43[1]	190,77±1,40[1]
26	Уксусная кислота AA	**1,92 s** [CH_3]	0,73±0,01	2,15±0,02[1]	2,97±0,05[1]	1,37±0,03[1,2]	2,27±0,10[1]	2,68±0,03[1]	4,37±0,16[1]

Продолжение таблицы 1 / Continuation of the table 1

№ п/п	Наименование метаболита	Химические сдвиги (ppm), структурный фрагмент	Содержание, мг/100 г, в образце						
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
27	Янтарная кислота SA	**2,41 s** [$(CH_2)_2$]	3,54±0,03	5,85±0,07[1]	6,20±0,09[1]	5,85±0,05[1]	6,66±0,11[1]	0,86±0,02[1]	1,10±0,03[1]
28	Фумаровая кислота Fu	**6,52 s** [$(CH)_2$]	0,26±0,01	0,20±0,00[1]	0,71±0,01[1]	0,24±0,01[1,2]	0,63±0,00[1]	0,20±0,00[1]	0,13±0,00[1]
29	Муравьиная кислота Fo	**8,46 s** [CH]	0,30±0,01	0,79±0,03[1]	1,21±0,02[1]	0,45±0,02[1,2]	0,69±0,01[1]	2,11±0,04[1]	2,61±0,03[1]
		Углеводы							
30	Глюкоза (α+β) Glc (α+β)	**3,42 m** [^{4}CH]; 3,65 m [^{5}CH]; 4,65 d [^{1}CH]; 5,24 d [^{1}CH];	14,60±0,17	12,94±0,14[1]	17,78±0,16[1]	8,35±0,23[1,2]	11,95±0,12[1]	5,58±0,14[1]	2,17±0,14[1]
31	Глюкозо-6-фосфат G6P	4,65 d [^{1}CH]; **5,24 d** [^{1}CH]	6,78±0,24	4,09±0,22[1]	9,63±0,24[1]	7,14±0,21[2]	7,73±0,17[1]	2,15±0,21[1]	2,54±0,21[1]
32	Глюкозо-1-фосфат G1P	**5,46 q** [^{1}CH]	0,43±0,02	0,60±0,04[1]	0,46±0,02	0,31±0,02[1]	0,68±0,03[1]	0,69±0,08[1]	0,44±0,07
33	Рибоза Rib	**5,26 s** [CH]; 5,39 d [CH]	1,11±0,29	0,58±0,35	1,66±0,25	1,43±0,40	1,24±0,20	4,89±0,20[1]	6,94±0,25[1]
34	Манноза Man	**4,90 s** [CH]; 5,19 s [CH]	1,80±0,14	1,95±0,23	1,67±0,18	1,56±0,17	1,56±0,11	0,80±0,13[1]	0,88±0,25[1]
35	Мальтоза Mal	**5,41 d** [CH]; 5,24 d [CH]	3,30±0,29	3,11±0,25	4,45±0,28[1]	2,98±0,30	4,35±0,20	1,09±0,07[1]	0,46±0,05[1]
		Азотистые основания и прочие азотистые соединения							
36	Триметиламин TMA	**2,90 s** [$(CH_3)_3$]	0,06±0,01	3,54±0,08[1]	3,97±0,03[1]	6,80±0,04[1,2]	7,22±0,05[1]	1,10±0,01[1]	3,51±0,04[1]
37	Триметиламин-оксид TMAO	**3,27 s** [$(CH_3)_3$]	40,63±0,34	39,09±0,46	58,58±0,46[1]	40,20±0,65	53,63±0,50[1]	34,41±0,31[1]	33,86±0,45[1]
38	Диметиламин DMA	**2,73 s** [$(CH_3)_3$]	0,07±0,03	1,18±0,03[1]	1,23±0,03[1]	2,27±0,02[1,2]	2,27±0,03[1]	0,33±0,01[1]	1,15±0,02[1]
39	Бетаин Bet	3,27 s [$(CH_3)_3$]; **3,90 s** [αCH_2]	0,88±0,20	1,52±0,15	2,47±0,44[1]	1,32±0,52	3,64±0,75[1]	11,76±0,12[1]	19,42±0,16[1]
40	Холин Cho	3,20 s [$(CH_3)_3$]; **3,51 t** [αCH_2]; 4,07 m [βCH_2]	1,79±0,08	2,34±0,08[1]	3,23±0,10[1]	2,15±0,08[1]	3,79±0,10[1]	3,11 ±0,18[1]	3,79±0,21[1]
41	Карнитин Carn	**2,45 s** [αCH_2]; 3,24 s [$(CH_3)_3$]	0,86±0,03	1,30±0,08[1]	2,01±0,15[1]	1,33±0,07[1]	2,40±0,11[1]	1,71±0,15[1]	1,85±0,08[1]
42	о-Ацетил-L-карнитин Acart	**2,15 s** [CH_3-COOH]; 3,20 s [$(CH_3)_3$]; 5,60 m [CH]	0,93±0,01	0,83±0,04	1,67±0,02[1]	0,76±0,06	1,42±0,02[1]	1,16±0,05[1]	1,40±0,03[1]
		Нуклеотиды и нуклеозиды							
43	Инозин-5-монофосфат IMP	6,15 d [^{1}CH, rib]; 8,23 s [CH, ring]; **8,57 s** [CH, ring]	49,49±0,52	50,05±0,82	54,02±1,01[1]	36,00±0,79[1,2]	43,87±1,63[1]	0,13±0,01[1]	0,15±0,06[1]
44	Инозин Ino	4,28 q [^{4}CH, rib]; 4,44 t [^{3}CH, rib]; 6,09 d [^{1}CH, rib]; **8,34 s** [^{8}CH, ring]	59,13±0,53	56,99±0,45*	71,22±0,43*	59,30±0,58	63,91±0,57*	42,04±0,42*	29,00±0,24*
45	Гипоксантин Hx	**8,19 s** [^{2}CH]; 8,21 s [^{8}CH]	2,97±0,08	2,53±0,12	3,66±0,06[1]	3,39±0,07[1,2]	3,89±0,12[1]	23,04±0,14[1]	32,03±0,19[1]
46	Аденозинмонофосфат AMP	**8,59 s** [CH, ring]	0,12±0,01	1,72±0,03[1]	3,04±0,11[1]	1,68±0,06[1]	2,68±0,06[1]	0,08±0,01[1]	1,80±0,06[1]
47	Аденозиндифосфат ADP	6,15 d [^{1}CH, rib]; 8,27 s [^{2}CH, ring]; **8,53 s** [^{8}CH, ring]	2,81±0,28	2,30±0,28	1,50±0,21[1]	1,91±0,20	2,07±0,23	4,31±0,22[1]	3,29±0,17
48	Аденозинтрифосфат ATP	6,15 d [^{1}CH, rib]; 8,28 s [^{2}CH, ring]; **8,50 s** [^{8}CH, ring]	2,33±0,25	2,33±0,20	3,50±0,21[1]	0,99±0,57	0,99±0,25[1]	0,33±0,99[1]	1,75±0,23
		Производные гуанидина (гуанидиновые основания)							
49	Креатин/Креатинфосфат Cre/Pcr	3,04 s [$N(CH_3)$]; **3,93 s** [$^2CH_2$]	253,44±1,55	203,46±2,50[1]	265,49±2,28[1]	154,26±1,89[1,2]	190,66±1,45[1]	219,23±1,77[1]	226,07±1,43[1]
50	Креатинин Cret	3,05 s [$N(CH_3)$]; **4,06 s** [$^2CH_2$]	0,76±0,27	40,31±0,38[1]	52,96±0,62[1]	73,05±1,12[1]	81,88±1,30[1]	2,02±0,17[1]	22,44±0,31[1]
		Спирты							
51	Метанол Met	**2,14 m** [$^5CH_3$; $^6CH_3$]	0,26±0,02	0,28±0,03	0,39±0,01[1]	0,22±0,02	0,20±0,01	0,30±0,01	0,25±0,02
52	Этанол Eth	**1,18 t** [βCH_3]	0,19±0,01	0,20±0,01	0,37±0,04[1]	0,30±0,01[1,2]	0,59±0,07[1]	0,68±0,03[1]	0,68±0,06[1]

Окончание таблицы 1 / End of the table 1

№ п/п	Наименование метаболита	Химические сдвиги (ppm), структурный фрагмент	Содержание, мг/100 г, в образце						
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
53	Глицерол Glyl	3,56 m [CH_2]; **3,66 dd [**CH_2]	4,16±0,08	3,78±0,13	6,25±0,14[1]	2,82±0,19[1,2]	5,38±0,18[1]	14,88±0,13[1]	12,70±0,13[1]
		Прочие							
54	Глицеро-3-фосфохолин GlyPC	3,23 s [$N(CH_3)_3$]; **4,33** br s [αCH_2]	38,79±0,40	52,57±0,72[1]	69,18±1,21[1]	40,39±1,09[2]	51,25±0,56[1]	33,46±0,48[1]	32,32±0,94[1]
55	Урацил Ura	**5,80 d** [^{6}CH, ring]; 7,54 d [^{5}CH, ring]	0,17±0,01	0,17±0,01	0,29±0,01[1]	0,19±0,01	0,25±0,01[1]	0,62±0,01[1]	0,50±0,01[1]
56	Мочевина Ure	**5,78** br s [$(NH_2)_2$]	1,14±0,02	0,99±0,03[1]	1,88±0,03[1]	1,42±0,03[1,2]	1,46±0,03[1]	2,36±0,03[1]	2,36±0,03[1]
57	Никотиновая кислота NA	7,52 dd [^{5}CH, ring]; **8,61 d** [^{6}CH, ring]; 8,94 s [^{2}CH, ring]	0,14±0,01	0,12±0,01	0,20±0,01[1]	0,14±0,01	0,09±0,01[1]	1,18±0,01[1]	2,07±0,01[1]
58	Никотинамид NAM	7,60 dd [^{5}CH, ring]; **8,71 d** [^{6}CH, ring]; 8,94 s [^{2}CH, ring]	3,63±0,02	4,23±0,02[1]	4,50±0,02[1]	3,81±0,04[1,2]	3,92±0,02[1]	2,44±0,01[1]	2,14±0,01[1]
59	Никотинамидаденин-динуклеотид NAD+	6,04 d [^{1}CH, rib]; 8,43 s [^{8}CH, ade]; 8,85 d [^{4}CH]; **9,15 d** [^{6}CH]; 9,34 s [^{2}CH, ring]	1,55±0,03	0,13±0,01[1]	0,22±0,02[1]	0,05±0,05[1]	0,07±0,01[1]	0,09±0,01[1]	0,09±0,01[1]

Примечание: * отмечены достоверные отличия между образцами; полужирным шрифтом отмечены значения химического сдвига соединения, принятого для количественного расчета; s — синглет; d — дублет, dd — дублет дублетов; t — триплет; q — мультиплет, br — широкий.

Из представленных данных следует, что при варке рыбы на пару число таких соединений, как TMA, Tau, Glu, Lys, Pro, Ser, GABA, Cret, увеличивается в бульоне, по сравнению с сырой рыбой, а в вареной рыбе накапливается содержание Tau и Cret. Содержание TMA, который придает рыбный запах продукции, резко возрастает в вареной рыбе, независимо от времени варки, одновременно наблюдается увеличение в вареной рыбе DMA.

Количество Glu, усиливающей вкус продуктов, в рыбе, подвергнутой варке, и при изменении времени приготовления практически не изменяется, в то время как в бульоне этот показатель возрастал в 2 раза. Определенный интерес представляет изменение содержания Cre и Cret в продукции. Согласно полученным данным, происходило увеличение количества Cret в атлантическом лососе с 0,76±0,27 мг/100 г до 40,31±0,38 при варке 30 мин и до 73,05±1,12 мг/100 г при термообработке в течение 60 мин. Результаты хорошо согласуются с литературными данными по изучению поведения различных видов продукции при термической обработке [21,22,23].

Согласно литературным данным, превращение Cre в Cret носит не ферментативный характер, а протекает путем внутримолекулярной дегидратации [21].

Заслуживает внимания оценка содержания основных метаболитов в рыбе, которая длительно хранилась и характеризовалась измененным цветом и ослабленной консистенцией. Установлено, что при хранении в образце № 6, по сравнению с исходным образцом № 1, произошло накопление свободных аминокислот, резкий рост β-Ala с 2,09±0,05 до 23,48±0,10 мг/100 г и 1-Mhis с 3,12±0,06 до 54,14±0,54 мг/100 г вследствие протекающих гидролитических процессов. Также закономерно увеличилось содержание TMA с 0,06±0,01 до 1,10±0,01 мг/100 г. Одновременно наблюдалось значительное уменьшение содержания NAD+ с 1,55±0,03 мг/100 г до 0,09±0,01 мг/100 г, который характеризует степень свежести рыбы (Рисунок 1 (d)) с образованием никотиновой кислоты. Кроме того, отмечено практически полное разрушение IMP. При варке образца № 6 на пару количество TMA возросло до 3,51±0,04 мг/100 г (образец № 7), но стало практически таким же, как в образце № 2, приготовленном из качественной рыбы.

С целью выявления наиболее важных метаболитов каждого образца проводили обработку массива данных методом главных компонент, который позволяет понять взаимоотношение между образцами и характеризующими их соединениями.

На графике счетов (Рисунок 2 (a)) отчетливо видно разделение образцов рыбы и бульона, а также резкое отличие рыбы с хорошими органолептическими показателями от образца длительного хранения. Переменные с наибольшим вкладом в PC1 отвечают за разделение с использованием графика нагрузок (Рисунок 2 (b)).

Проведена комплексная оценка ИВ для основных соединений, характеризующих сладкий, горький, кислый вкус, а также вкус умами. Для расчетов взяты значения порога вкуса соединений в соответ-

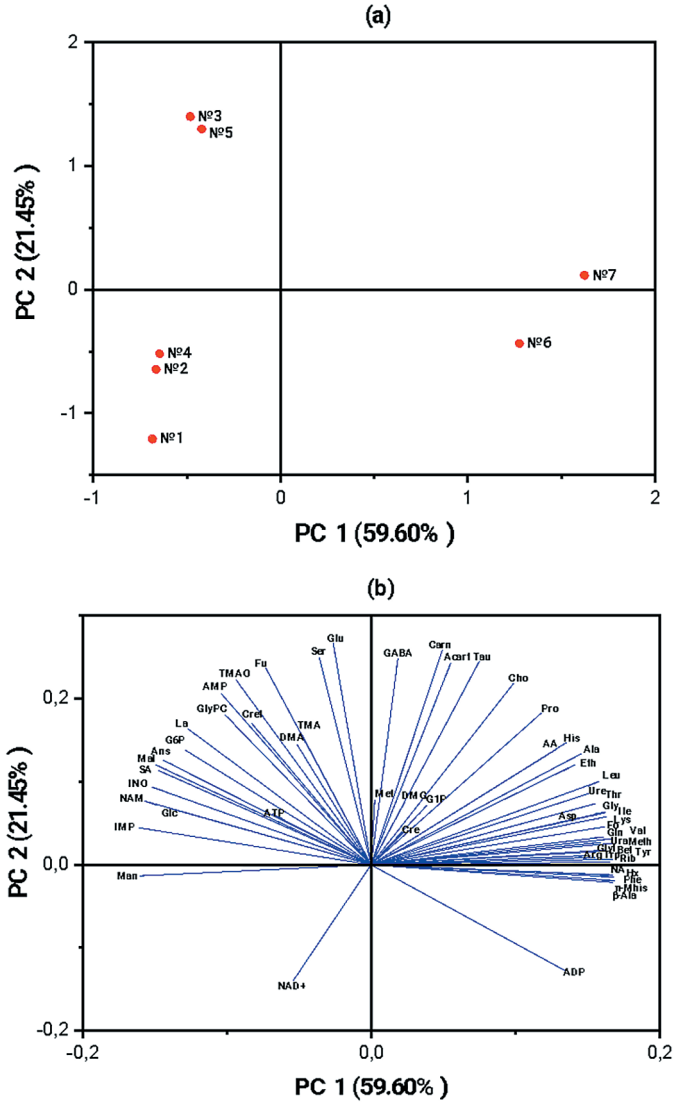


Рисунок 2. **График счетов (a) и график нагрузок (b) образцов атлантического лосося**

Figure 2. **Score plot (a) and loading plot (b) of Atlantic salmon samples**

ствии с литературными данными, которые широко используются для комплексной оценки различной пищевой продукции [11,14,17].

На Рисунке 3 представлены значения ИВ для атлантического лосося и бульона, полученные при варке образца на пару, по сравнению с исходным образцом. Из полученных данных следует, что наибольший вклад в формирование вкусовых качеств как вареной рыбы, так и бульона вносит вкус умами, а затем кислый вкус органических кислот. На ИВ бульона, образовавшегося при варке рыбы, большое влияние из органических кислот оказывает La, а аминокислоты Ala и Ser усиливают сладкий вкус.

Для комплексной оценки вкуса каждого образца был рассчитан суммарный ИВ умами, кислого, сладкого, горького, а также общее значение всех составляющих (Таблица 2). В таблице для сравнения приведены расчетные данные для образца № 6, который длительно хранился, и для образца № 7, подвергнутого варке.

Из приведенных данных видно, что значение ИВ для бульона несколько выше при варке на пару в течение 30 мин, по сравнению с выдерживанием рыбы на пару в течение 60 мин, и составляет 6,27 ± 0,06 и 5,61 ± 0,09 соответственно. Для образца № 6 характерно резкое снижение показателя вкуса умами и увеличение горького вкуса, что обусловлено гидролитическими процессами, проходящими при порче продукта в процессе хранения.

При варке образца атлантического лосося № 6, который длительно хранился, отмечено увеличение содержания IMP, что свидетельствует о восстановлении свойств продукции и о небольшом повышении качества, которое характеризуется показателем K [24]. Имеется ряд работ, в которых при нагреве мяса животных (говядины, свинины) наблюдалось значительное увеличение концентрации двух нуклеотидов AMP и IMP. Аналогичные исследования проведены с размороженным минтаем, в котором методом ЯМР не удавалось зарегистрировать присутствие IMP, однако после нагрева пробы в паровой бане его количество достоверно увеличивалось. Такие эффекты объясняются проявлением ферментативной реакции восстановления («спасения») нуклеотидов (Nucleotide salvage) [25,26]. В настоящее время этому направлению работ уделяется особое внимание с позиции решения вопроса сохранения и восстановления качества сырья и продукции.

4. Заключение

В результате исследований сделан вывод, что метод ЯМР-спектроскопии позволяет количественно оценить изменение основных метаболитов в образцах лосося атлантического до и после термической обработки и при хранении. Использование показателей ИВ свободных аминокислот, нуклеотидов и органических кислот дает объективную характеристику вкусовых качеств продукции и может быть рекомендовано для комплексной оценки показателей сырья и готовой продукции при различных технологических операциях, а также в процессе хранения.

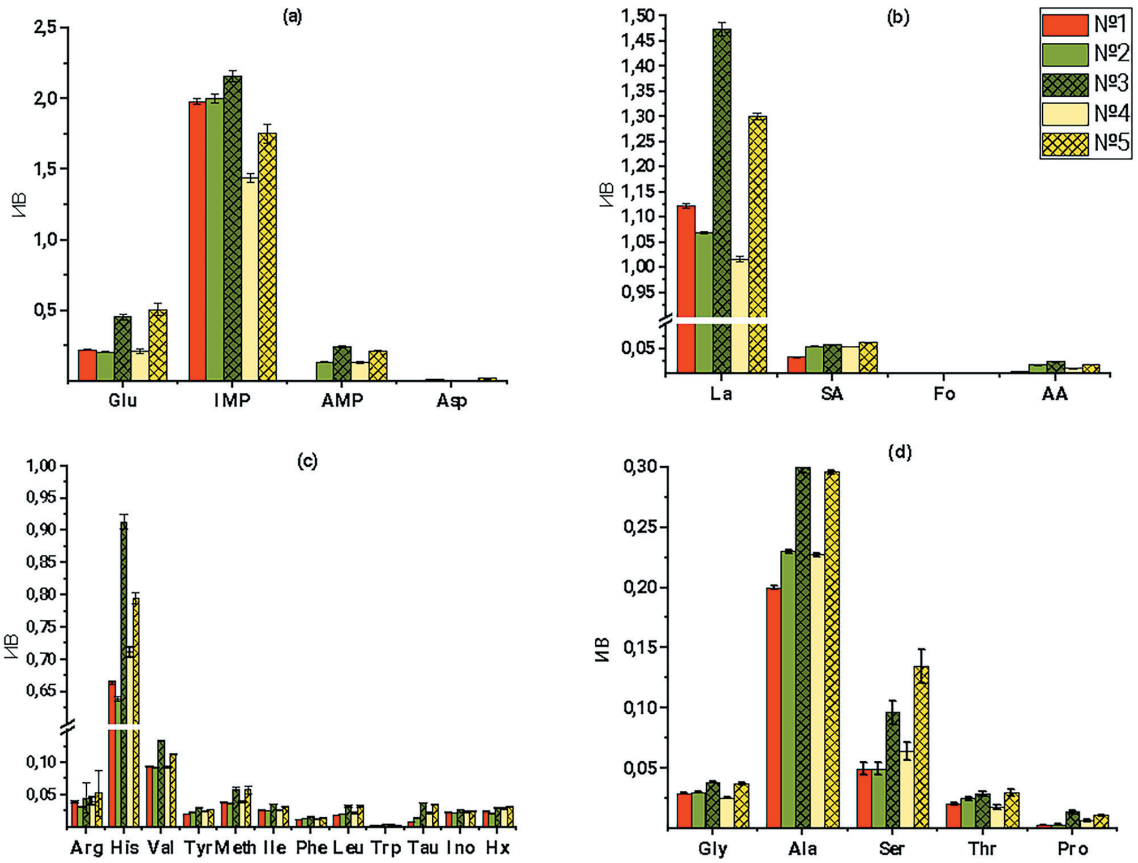


Рисунок 3. **Показатели индекса вкуса образцов атлантического лосося: (а) умами; (б) кислый; (с) горький; (d) сладкий**

Figure 3. **Taste active values of Atlantic salmon samples: (a) umami; (б) sour; (c) bitter; (d) sweet**

Таблица 2. **Значения индекса вкуса образцов атлантического лосося**

Table 2. **Taste active values of Atlantic salmon samples**

Показатель индекса вкуса	Суммарное значение индекса вкуса образцов						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Умами	2,22 ± 0,02	2,37 ± 0,03^{1*}	2,87 ± 0,05^{1,2}	1,79 ± 0,04^{1,2}	2,50 ± 0,08^{1,3,4}	0,26 ± 0,01^{1}	0,55 ± 0,01^{1,2,4}
Кислый	1,16 ± 0,01	1,14 ± 0,01	1,56 ± 0,01^{1,2}	1,08 ± 0,01^{1,2}	1,39 ± 0,01^{1,3,4}	0,83 ± 0,01^{1}	0,78 ± 0,01^{1,2,4}
Горький	0,97 ± 0,01	0,94 ± 0,01	1,37 ± 0,03^{1,2}	1,04 ± 0,01^{1,2}	1,22 ± 0,04^{1,4}	1,85 ± 0,01^{1}	2,28 ± 0,02^{1,2,4}
Сладкий	0,30 ± 0,01	0,34 ± 0,01	0,48 ± 0,01^{1,2}	0,34 ± 0,01	0,51 ± 0,01^{1,4}	0,51 ± 0,01^{1}	0,55 ± 0,01^{1,2,4}
Сумма	4,65 ± 0,03	4,79 ± 0,03^{1}	6,27 ± 0,06^{1,2}	4,26 ± 0,04^{1,2}	5,61 ± 0,09^{1,3,4}	3,45 ± 0,02^{1}	4,07 ± 0,03^{1,2,4}

Примечание: * указаны достоверные отличия значений между образцами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Franceschelli, L., Berardinelli, A., Dabbou, S., Ragni L., Tartagni, M. (2021). Sensing technology for fish freshness and safety: A review. *Sensors*, 21(4), Article 1373. https://doi.org/10.3390/s21041373
2. Prabhakar, P. K., Vatsa, S., Srivastav, P. P., Pathak, S. S. (2020). A comprehensive review on freshness of fish and assessment: Analytical methods and recent innovations. *Food Research International*, 133, Article 109157. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109157
3. Gil-Sánchez, L., Martínez-Máñez, R., Barat J. M., Garcia-Breijo, E. (2016). Meat and Fish Spoilage Measured by Electronic Tongues. Chapter in a book: Electronic Noses and Tongues in Food Science. Elsevier Academic Press Inc., London, UK; San Diego, CA, USA; Cambridge, MA, USA; Kidlington, Oxford, UK, 2016. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800243-8.00020-2
4. Hu, Z., Tong, Y., Manyande, A., Du, H. (2020). Effective discrimination of flavours and tastes of Chinese traditional fish soups made from different regions of the silver carp using an electronic nose and electronic tongue. *Czech Journal of Food Sciences*, 38, 84–93. http://doi.org/10.17221/103/2018-CJFS
5. Rudnitskaya, A. (2018). Calibration update and drift correction for electronic noses and tongues. *Frontiers in Chemistry*, 6, Article 433. https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00433
6. Yin, M., Xi Y., Shi Y., Qiu Z., Matsuoka R., Wang, H. et al. (2023). Effects of temperature fluctuations on non-volatile taste compounds in tilapia fillets (*Oreochromis niloticus*). *Food Chemistry,* 408, Article 135227. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135227
7. Huang, Y., Pu, D., Hao, Z., Liang, L., Zhao, J., Tang, Y. et al. (2022). Characterization of taste compounds and sensory evaluation of soup cooked with sheep tail fat and prickly ash. *Foods*, 11(7), Article 896. https://doi.org/10.3390/foods11070896
8. Wang, L., Qiao, K., Duan, W., Zhang, Y., Xiao, J., Huang Y. (2020). Comparison of taste components in stewed beef broth under different conditions by means of chemical analyzed. *Food Science & Nutrition*, 8(2), 955–964. https://doi.org/10.1002/fsn3.1376
9. Zhou, C. Y., Bai, Y., Wang, C., Li, C. B., Xu, X.-L., Pan, D.-D. et al. (2021). ^{1}H NMR-based metabolomics and sensory evaluation characterize taste substances of Jinhua ham with traditional and modern processing procedures. *Food Control*, 126(3), Article 107873. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107873
10. Tian, Z., Zhu, Q., Chen, Y., Zhou, Y., Hu, K., Li, H. et al. (2022). Studies on flavor compounds and free amino acid dynamic characteristics of fermented pork loin ham with a complex starter. *Foods*, 11(10), Article 1501. https://doi.org/10.3390/foods11101501
11. Camacho, C., Correia, T., Teixeira, B., Mendes, R., Valente L. M.P., Pessoa M. F. et al. (2023). Nucleotides and free amino acids in sea urchin *Paracentrotus lividus* gonads: Contributions for freshness and overall taste. *Food Chemistry,* 404 (Part A), Article 134505. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134505
12. Xue, Q., Xue, C., Luan, D., Wen, Y., Bi, S., Wei, Z. et al. (2021). Comprehensive investigation into quality of pasteurized Oncorhynchus keta Walbaum fillets and non-thermal effects of microwave. *LWT,* 146, Article 111466. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111466
13. Ninomiya, K. (2002). Umami: A universal taste. *Food Reviews International,* 18(1), 23–38. https://doi.org/10.1081/FRI-120003415
14. Kato, H., Rhue, M. R., Nishimura, T. (1989). Role of free amino acids and peptides in food taste. Chapter in a book: Flavor chemistry. American Chemical Society, Washington, D. C., 1989.
15. Heu, M. S., Choi, B. D., Kim, K. H., Kang, S. I., Kim, Y. J., Kim, J.-S. (2015). Comparison on the food quality characteristics of muscles from Salmonids according to species, imported country, and separated part. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(1), 16–25. https://doi.org/10.5657/KFAS.2015.0016 (In Korean)
16. Duan, W., Huang, Y., Xiao, J., Zhang, Y., Tang, Y. (2020). Determination of free amino acids, organic acids, and nucleotides in 29 elegant spices. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3777–3792. https://doi.org/10.1002/fsn3.1667
17. Shi, Y., Pu, D., Zhou, X., Zhang, Y. (2022). Recent progress in the study of taste Characteristics and the nutrition and health properties of organic acids in foods. *Foods*, 11(21), Article 3408. https://doi.org/10.3390/foods11213408
18. Shim, K.-H., Lee, J.-H., Ha, Y.-L., Choe, S.-D., Seo, K.-I., Joo, O.-S. (1994). Changes in organic acid contents on heating conditions of fishes. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 23(6), 939–944. (In Korean)
19. Castejón, D., Villa, P., Calvo, M. M., Santa-María, G., Herraiz, M., Herrera, A. (2010). ^{1}H-HRMAS NMR study of smoked Atlantic salmon (Salmo salar). *Magnetic Resonance in Chemistry*, 48(9), 693–703. https://doi.org/10.1002/mrc.2652
20. Shumilina, E., Ciampa, A., Capozzi, F., Rustad, T., Dikiy, A. (2015). NMR approach for monitoring post-mortem changes in Atlantic salmon fillets stored at 0 and 4 °C. *Food Chemistry*, 184, 12–22. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.037
21. Elbir, Z., Oz, F. (2021). Determination of creatine, creatinine, free amino acid and heterocyclic aromatic amine contents of plain beef and chicken juices. *Journal of Food Science and Technology*, 58(9), 3293–3302. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04875-8
22. Shirai, T., Fuke, S., Yamaguchi, K., Konosu, S. (1984). Creatine and creatinine in the raw and heated muscles of salmon. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50(7), 1229–1233. https://doi.org/10.2331/suisan.50.1229
23. del Campo, G., Gallego, B., Berregi, I., Casado, J. A. (1998). Creatinine, creatine and protein in cooked meat products. *Food Chemistry*, 63(2), 187–190. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00034-X
24. Hong, H., Regenstein, J. M., Luo, Y. (2017). The importance of ATP-related compounds for the freshness and flavor of post-mortem fish and shellfish muscle: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(9), 1787–1798. https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001489
25. Sünter, A., Kuznetsov, A., Raudsepp, P., Püssa, T., Toom, L., Konoplev, G. et al. (2023). Manifestation of heat-induced valuable dietary nucleotide salvage in food prepared from aged fish in fast protein and metabolites Liquid Chromatography, ATP-Bioluminescence Assay, and NMR spectra. *Applied Chem*, 3(2), 334–349. https://doi.org/10.3390/appliedchem3020021
26. Shirai, T., Yamaguchi, K., Konosu, S., Fuke S. (1988). Nucleotides, quaternary ammonium bases, and related compounds in the raw and heated muscles of salmon. *Nippon Suisan Gakkaishi,* 54(7), 1199–1207. https://doi.org/10.2331/suisan.54.1199

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Абрамова Любовь Сергеевна — доктор технических наук, профессор, заместитель руководителя департамента по вопросам качества пищевой рыбной продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии 105187, Москва, Окружной проезд, 19 Тел. +7–915–064–77–04 E-mail: abramova@vniro.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8278–2760	**Liubov S. Abramova**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of the Department for the Quality of Fish Food Products, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography 19, Okruzhnoy proezd, 105187, Moscow, Russia Tel.: +7–915–064–77–04 E-mail: abramova@vniro.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8278–2760
Козин Андрей Валерьевич — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Отдел Качества пищевой рыбной продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии 105187, Москва, Окружной проезд, 19 Тел. +7–916–102–93–87 E-mail: kozin82a@gmail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8507–3548 * автор для контактов	**Andrey V. Kozin**, Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Fish Food Quality Department, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography 19, Okruzhnoy proezd, 105187, Moscow, Russia Tel.: +7–916–102–93–87 E-mail: kozin82a@gmail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8507–3548 * corresponding author
Гусева Елена Сергеевна — специалист, Отдел Качества пищевой рыбной продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии 105187, Москва, Окружной проезд, 19 Тел.: +7–917–505–92–06 E-mail: gycebaleha@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1377–1838	**Elena S. Guseva**, Specialist, Fish Food Quality Department, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography 19, Okruzhnoy proezd, 105187, Moscow, Russia Tel.: +7–917–505–92–06 E-mail: gycebaleha@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1377–1838
Лаврикова Кира Александровна — специалист, Отдел Качества пищевой рыбной продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии 105187, Москва, Окружной проезд, 19 Тел.: +7–977–540–70–50 E-mail: lavrikova85@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0009–0001–8296–2048	**Kira A. Lavrikova**, Specialist, Fish Food Quality Department, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography 19, Okruzhnoy proezd, 105187, Moscow, Russia Tel.:+7–977–540–70–50 E-mail: lavrikova85@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0009–0001–8296–2048
Критерии авторства	**Contribution**
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-358-364

Received 02.07.2023
Accepted in revised 29.08.2023
Accepted for publication 07.09.2023
© Mirzaxmedov S. D., Hasanov J. H., Calvo-Gomez O., Sultonova E. M., Nematov E. H., Nabiyev A. H., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

FLAXSEED *(LINUM USITATISSIMUM)* LOW TEMPERATURE PROCESSING: OIL QUALITY AND FATTY ACIDS PROFILE

Sherzod D. Mirzaxmedov[1], Jahongir H. Hasanov[2],* Octavio Calvo-Gomez[3], Elvira M. Sultonova[2], Erkin H. Nematov[1], Abdusamad H. Nabiyev[2]

[1] Islam Karimov Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan
[2] Institute of Bioorganic Chemistry of Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan
[3] Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan

KEY WORDS:
acid value, flax, cake outlet size, optimization, peroxide value, screw press

ABSTRACT

Flaxseed consumption has been prioritized by health-conscious people all over the world. Its consumption raises interest to it both from a personal and an industrial prospect due to its remarkable fatty acids profile. Besides its high content of unsaturated fatty acids, flaxseed oil is known for its low omega 6/omega 3 ratio, which may possess health improving properties because this oil is precursor of anti-inflammatory molecules. However, the high amount of polyunsaturated fatty acids in flaxseed oil causes its high sensitivity to high temperatures, to light and to oxygen, which may lead to its oxidation and quality degradation. Screw pressing can produce high quality oil but in lesser volume, which could be disadvantage. Therefore, the extraction process must be optimized for maximizing oil recovery, while maintaining oxidation indicators within limits specified by regulations, as well as a potentially health beneficial fatty acid profile. Optimization of screw press parameters for pressing out the flaxseed oil were investigated by Response Surface Methodology. Both size of the cake outlet and the speed of the screw pressing were optimized, and the values that provided the highest experimental oil recovery, 41.4%, were of 1 mm and 155.89 rpm respectively. Although the overall trend in oil extraction showed a rising oil recovery when screw speeds increased from 98.73 up to 213.05 rpm, certain fluctuations were observed in oil extraction with varying outlet cake sizes. However, there was an inversely-proportional function between the oil recovery and the size of the cake outlet, therefore, screw speed provided a minor, non-significant effect while the size of the cake outlet proved to have a strong effect on oil recovery. The highest acid value and peroxide value accounted to 0.71 mg KOH/g and to 7.71 meq/kg respectively. Sediment content (SC) of screw pressed flax oil ranged between 9.12~14%. During the oil extraction at the maximum yield, temperature increased, however the ratio of omega 6 to omega 3 in the obtained oil still remained low.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors acknowledge the supports for laboratory facilities of Institute of bioorganic chemistry of Academy of sciences of Uzbekistan and Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

Поступила 02.07.2023
Поступила после рецензирования 29.08.2023
Принята в печать 07.08.2023
© Мирзахмедов Ш. Д., Хасанов Ж. Х., Октавио К. Г., Султонова Э. М., Нематов Э. Х., Набиев А. Х., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЛЬНЯНОГО СЕМЕНИ (*LINUM USITATISSIMUM*): КАЧЕСТВО МАСЛА И ПРОФИЛЬ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

Мирзахмедов Ш. Д.[1], Хасанов Ж. Х.[2],* Октавио К. Г.[3], Султонова Э. М.[2], Нематов Э. Х.[1], Набиев А. Х.[2]

[1] Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан
[2] Институт биоорганической химии Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан
[3] Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
кислотное число, лён, размер жмыха на выходе, оптимизация, перекисное число, винтовой пресс

АННОТАЦИЯ

Потребление льняного семени является приоритетным для людей, заботящихся о своем здоровье, как с личной, так и с производственной точки зрения, особенно из-за замечательного жирно-кислотного состава. Помимо большого количества ненасыщенных жирных кислот, льняное масло известно низким соотношением омега 6/омега 3, которое имеет свойства, улучшающее здоровье человека, поскольку обладает противовоспалительным воздействием. Однако большое количество полиненасыщенных жирных кислот в льняном масле приводит к его высокой чувствительности к высоким температурам, свету и кислороду, что может привести к окислению и снижению качества масла. Шнековым прессом можно производить масло высокого качества, хотя и в меньшем количестве, что является его недостатком. Следовательно, процесс экстракции должен быть оптимизирован для максимального извлечения масла при сохранении показателей окисления в пределах, установленных нормативными актами, а также потенциально полезного для здоровья. Оптимизацию процесса прессования для получения льняного масла исследовали методом поверхности отклика. Размер жмыха на выходе и скорость шнекового пресса были оптимизированы, а значения параметров прессования, которые дали максимальное экспериментальное извлечение масла 41,4%, составили 1 мм и 155,89 об/мин соответственно. Хотя общая тенденция извлечения масла увеличивалась при увеличении скорости вращения шнека с 98,73 до 213,05 об/мин, при извлечении масла наблюдались колебания при различных размерах жмыха на выходе. Однако обнаружена обратно пропорциональная зависимость между извлечением масла и размером жмыха на выходе, поэтому скорость шнека оказывает незначительное влияние на выход масла. Максимальное кислотное число и пероксидное число составили 0,71 мг КОН/г и 7,71 мэкв/кг соответственно. Содержание осадка (SC) в льняном масле шнекового отжима колеблется от 9,12 до 14%. При экстрагировании с максимальным выходом температура повышалась, однако соотношение Омега 6 к Омега 3 полученного масла оставалось низким.

БЛАГОДАРНОСТЬ: Авторы выражают благодарность за поддержку лабораторной базы Института биоорганической химии Академии наук Узбекистана и Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.

FOR CITATION: **Mirzaxmedov, S. D., Hasanov, J. H., Calvo-Gomez, O., Sultonova, E. M., Nematov E. H., Nabiyev, A. H.** (2023). Flaxseed (*Linum usitatissimum*) low temperature processing: Oil quality and fatty acids profile. *Food Systems*, 6(3), 358-364. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-358-364

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Мирзахмедов, Ш. Д., Хасанов, Ж. Х., Октавио, К. Г., Султонова, Э. М., Нематов, Э. Х., Набиев, А. Х.** (2023). Низкотемпературная переработка льняного семени (*Linum usitatissimum*): качество масла и профиль жирных кислот. *Пищевые системы*, 6(3), 358-364. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-358-364

1. Introduction

Flax *(Linum usitatissimum L.)* is one of the most important oilseed crops in the world. It contains lipids, lignans, proteins, fiber, other carbohydrates and micronutrients. Due to its health beneficial components and subsequent nutraceutical potential, the flaxseed oil became a point of interest for healthy food production and pharmaceutical industries throughout the world [1, 2].

Flaxseed oil has been considered as a health supportive food which is a rich source of polyunsaturated fatty acids and other bioactive components [1,2,3]. The most important feature of this crop is its uniquely and comparatively high content of omega-3 fatty acid (α-linoleic acid), which comprises over the half of the amount of its fatty acids [2]. Flaxseed is composed of about 40% of oil, where the specific profile is as follows: α-linoleic acid (ALA) (~53%), oleic acid (~19%), linoleic acid (~17%), palmitic acid (~5%), and stearic acid (~3%). It is necessary to note its favourable omega 6/omega 3 fatty acids ratio (0.3:1) in the flaxseed oil [3,4]. Besides, it also contains antioxidants and phytosterols, which may also boost up a human health [3,5]. It is worth noting, that flaxseed has been reported as a dietary source of lignans [5,6].

However, the high amount of polyunsaturated fatty acids in flaxseed oil leads to its high sensitivity to high temperatures, to light and to oxygen, which may lead to oxidation and oil quality degradation [3,5,7]. Quality degradation may take its origin during the period of growing, harvesting, processing, and/or storage of flax crops, flaxseed, and oil production. Oil degradation may occur both through oxidation and through thermal degradation [3]. It has been reported that oxidative and thermal degradation may be accelerated by the presence of metals such as iron or copper [8,9]. Thermal degradation may be impeded by antioxidants, either the additives like BHA, BHT or TBHQ; or the natural compounds such as polyphenols, especially lignans, which also act as metal chelators, thus providing steric hindrance in the interaction between metals and food components [8].

Pressing is a preferable technique for oil production due to its several advantages: low energy consumption, low cost, and absence of potentially harmful organic solvents; besides, it is also known for the higher quality in the extracted oil [4,10,11]. However, its main disadvantage is a low oil recovery, thus leaving the high share of oil in the remaining cake. Nevertheless, the volume of the obtained oil also depends on process variables, therefore, by adjusting the variable parameters a higher oil recovery may be obtained [10,11].

Quality and quantity of the flaxseed oil depend on pretreatment, processing, and conditions of seeds storage. There have been defined several influencing factors such as dehulling, seed conditioning, steam-treating, enzyme-treating, roasting, hot pressing, dry extrusion, speed of screw pressing and the size of the cake outlet, among the other factors [3,4,11,12]. Although those above-mentioned factors may favorably impact on the quantity of the extracted oil, in some cases quality of the oil may degrade, especially due to an increase in oxidation and thermal degradation of the oil. In any case, pressing technology is preferable for either producing the functional oil (FO), or somewhere in rural places where several species of oleaginous crops are grown, thus the lower yields from one crop may be acceptable [11,12,13,14].

There may be several influencing factors regarding process variables and oil extraction parameters during the various stages of the seed processing (on the laboratory and pilot plant) [14,15]. Therefore, in this study our goal is the optimization of process variables regarding the impact of screw pressing parameters on flaxseed oil production in a pilot plant. The goal was to optimize studies of screw speed and the size of the cake outlet based on Response Surface Methodology (RSM), which outperforms the classical methods. RSM is an effective mathematical and statistical technique for optimization. RSM applying can determine the effect of process parameters on technological response and interaction (function) between them [16].

2. Objects and methods

Flax *(Linum usitatissimum)* was brought from Surkhondaryo region, Uzbekistan. The initial and final oil content of the flax and cake, and the moisture content of flax were determined by the formula according to GOST 10857–64[1], GOST 10856–96[2]. Moisture content of the oil was calculated by the formula below:

$$X = \frac{M_i(W_f - W_i)}{100 - W_i} \quad (1)$$

where:

x is the mass of water to be added;
M_i is the initial mass of the sample;
W_i is the initial moisture content of the sample in% w. b.;
W_f is the final moisture content in% w. b.

Moisture content of flax samples was equal to 8.91%.

2.1. Parameters for screw pressing flax seeds

The experiments were run on a Pilot plant screw press by the same methods as were used in our previous studies [17,18,19] (screw press is described below in the Figure 1), normally used for extracting oil from sunflower, soybean, and flax. It is powered by a 16 kW electric motor, with a capacity of 15–75 kg/h. The residual oil in the cake accounts for 9–12%. Internal diameter of the screw shaft is 140 ± 4 mm, and the distance between oil outlet holes is 0.12 ± 0.02 mm. The size of press cake discharging hole can be adjusted from 10.3 to 26.3 mm.

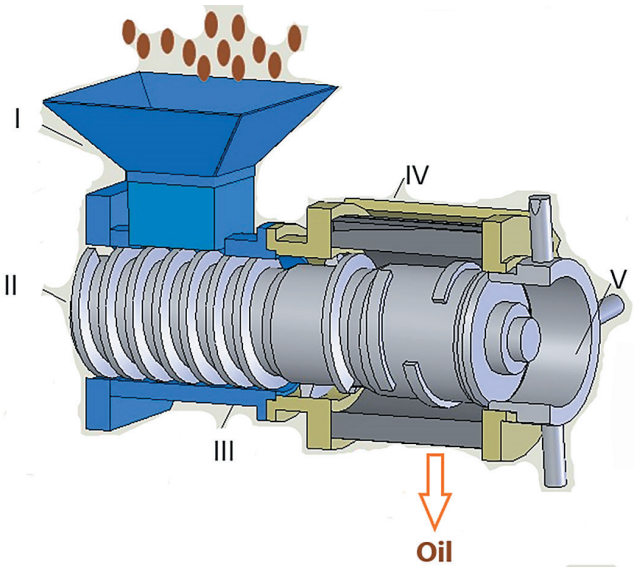


Figure 1. **Pilot plant screw press. (I)-feed hopper, (II)-screw, (III)- press cylinder, (IV)-outlet holes, (V)-cake outlet**

Рисунок 1. **Опытная шнековая пресс-установка (I)-загрузочная воронка, (II)-шнек, (III)- пресс-цилиндр, (IV)- отверстия для выхода масла, (V)-выходное отверстие для жмыха**

Experiments were run at a room temperature of 40 ± 2 °C. Before processing, one kilogram of seed was used to condition the temperature of the equipment cylinder. Experiments were run sequentially by several experimental trials. Several variable parameters were set for each screw pressing. The temperature of the oil was measured by from a close-range distance digital thermometer WT-1 (Elitech, USA). However, the distance from oil dripping point to the collecting surface and an effect of the wind on the measurements were not taken into calculations. Process time was considered as the period from the beginning of the process until the cease of oil flow from the press outlet, which period varied from 15 to 25 min. Both oil and its residues (small oil particles) were collected into a glass container, every experimental trial was run in duplicate. The speed of the screw spinning in the screw-mill was programmed with the help of the inverter CHNT: Nyf2g-7.5/Ts4 Inverter (Czech Republic) [20], while the speed of the screw spinning and the size of the cake outlet were adjusted in accordance with the terms of the experiment, refer to the Table 1). In this study the seeds feeding rate was kept steady and constant.

2.2. Sediments content in the oil

An aliquot of oil was weighed. Sediment particles were isolated from the oil via centrifugation at 1,200 rpm for 30 min (Centrifuge: Tslmn-P10–01-Elekon, Russia), and the supernatant was removed. The pellet was then washed in chloroform, followed by vacuum filtration. Sediment was then dried and weighed at an analytical balance. The sediment content of the oil was determined by calculating the ratio between the weight of the sediment, and the weight of the whole oil.

[1] GOST 10857–64. "Oil seeds. Methods for determination of oil content.". Moscow: Standartinform, 2010. — 6 p. (In Russian)

[2] GOST 10856–96. "Oil seeds. Methods for determination of moisture content". Moscow: Standartinform, 2019. — 4 p. (In Russian)

2.3. Oil recovery calculation

Oil Recovery (OR) is defined as the ratio of oil weight in the meal to the oil weight in the original seed that was pressed, calculated as follows:

$$OR(\%) = (1 - \frac{\text{weight of the meal} \times \text{oil content in the meal}}{\text{weight of the raw material} \times \text{oil content in the raw material}}) \times 100\% \quad (2)$$

2.4. Characteristics of oil quality

The peroxide value and acid value were determined as quality characteristics of the oil. Although there are no specific regulations for evaluating the quality parameters of flaxseed oil in the food industry, the standards for the virgin oils and cold-pressed fats and oils, set by the Codex Alimentarius Commission (1999) [21], were used to evaluate the oil quality parameters. The peroxide and acid values of the oil samples were determined according to GOST ISO 27107–2016[3] and GOST 31933–2012[4]. All scheduled experiments were duplicated.

2.5. Response surface methodology

Response Surface Methodology (RSM) is a collection of statistical and mathematical techniques useful for the modeling and analysis of the problems, where performance response is influenced by several variable parameters. It is a powerful optimization tool that has been widely used in research and industrial sectors. The main goal of RSM is to optimize the response that is affected by various process parameters; the concept of Response Surface Methodology was introduced by George E. P. Box and K. B. Wilson in 1951 [22]. The methodology is based on the matching of a polynomial equation to the experimental data, which must be relevantly selected to represent adequately the behavior of the system. The equation is used to estimate the obtained response and optimize the process. The RSM process involves three primary steps: running the experiment, estimation of the coefficients in a mathematical model, predicting the response and checking the adequacy of the calculated model. RSM is particularly useful when the experimenter is not completely sure of what form the underlying function takes. It provides a means of navigating through the design space using a sequence of designed experiments. These experiments are used to fit a model, predict the response, and determine the settings of the factors that optimize the response. RSM is used to optimize the process parameters to achieve maximum efficiency. In the food industry, RSM is used to optimize the recipe for a new product to achieve the best taste and texture. There are several advantages of RSM application. It helps in the development, improvement and optimization of systems; and it reduces the number of experimental trials needed, thus saving time and resources. Furthermore, it helps visualizing the relations between the response and the independent variables [23]. In this study, RSM, used by *Minitab 19* software, was used for optimizing the flaxseed screw pressing variables. *Minitab* is the software used for data processing, statistical analyses and improvement of workflow processes. It is extensively applied in industries, manufacturing, education and research purposes. Minitab is equipped with tools for performing statistical analysis involving hypothesis testing, regression analysis, ANOVA, and optimization studies [24]. An experimental plan was developed using CCD. Five levels and two factors were used for the following process parameters: screw auger speed (A), and the size of the cake outlet (B). Multiple regression analyses were used to obtain a second-order polynomial equation to predict the rate of screw-pressed flaxseed oil recovery. The general second-order polynomial equation is described below:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{K} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{K} \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{K+1} \sum_{j=1}^{K} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (3)$$

where:

Y is response;
β_0 — intercept coefficient;
β_i — linear constant coefficient;
β_{ii} — quadratic constant coefficient;
β_{ij} — interaction constant coefficient;
X_i and X_j — uncoded process variables;
K — number of the variables;
ε — random error.

The two independent parameters were: A — screw auger speed; B — the size of the cake (meal) outlet. The coded five levels of factors were −1.41, —1, 0, +1 and +1.414 (Table 1). Response (Y) was evaluated as OR%.

[3] GOST ISO 27107–2016. "Animal and vegetable fats and oils. Determination of peroxide value by potentiometric end-point method". Moscow: Standartinform, 2016–10 p. (In Russian)

[4] GOST 31933–2012. "Vegetable oils. Methods for determination of acid value". Moscow: Standartinform, 2019. — 10 p. (In Russian)

Table 1. **Levels and factors of flaxseed oil screw pressing experiments**

Таблица 1. **Уровни и факторы в экспериментах по шнековому прессованию льняного масла**

Factors −1.414		Coding				
		-1	0	+1	+1.414	
Screw speed (rpm)	A	98.73	135.11	155.89	176.68	213.05
Sizes of outlet cake (mm)	B	1	1.25	1.5	1.75	2

An experimental design was implemented including 13 treatments (4 cube points, 5 central points, and 4 axial points) for pilot-plant screw pressing. The 13 numbers of results of the experiments were used to create a regression mode (Table 2). Described factors, levels, and responses for oil recovery percentage (OR %), sediment content (SC %), acid value (mg KOH/g), peroxide value (meq/kg) and temperature (°C) of the flaxseed oil are listed below in the Table 2, as well as correspondences to the independent variables (both coded and uncoded).

Table 2. **Central composite design of flaxseed oil pressing experiments**

Таблица 2. **Центральный композитный метод для получения льняного масла с помощью прессования**

	Coded		Uncoded		Quality and quantity properties of the oil					
№	A	B	A	B	OR (%)	Predicted OR (%)	SC (%)	Acid value (mg KOH/g)	Peroxide value (meq/kg)	Oil Temp. (°C)
1	0	0	155.89	1.5	38.3	37.56	11.32	0.71	5.13	37.6
2	0	0	155.89	1.5	38.6	37.56	12.45	0.35	5.64	57.6
3	−1.414	0	98.73	1.5	34.7	34.31	13.16	0.625	4.53	85.7
4	0	−1.414	155.89	1	41.4	40.53	14	0.54	4.74	102
5	-1	1	135.11	1.75	26.14	27.9	9.12	0.48	4.43	46.7
6	0	1.414	155.89	2	14.88	13.9	10.1	0.43	7.71	59
7	0	0	155.89	1.5	38.7	37.56	12.14	0.455	4.56	70.8
8	1.414	0	213.05	1.5	33.8	33.21	10.49	0.45	4.26	91
9	0	0	155.89	1.5	38.4	37.56	11.4	0.39	4.14	69.6
10	1	1	176.68	1.75	25.7	27.73	10.77	0.385	4.92	67
11	1	−1	176.68	1.25	38.9	40.82	12.36	0.395	5.5	89.9
12	−1	−1	135.11	1.25	39.8	41.45	12.74	0.395	4.05	99
13	0	0	155.89	1.5	38.39	37.56	9.7	0.395	4.56	87

2.6. Evaluation of the model congruence

Using ANOVA, the quality of the model's fitness can be evaluated. The coefficient of determination R^2 defines how well the model fits the experimental data.

The regression equation of the oil recovery is described below (4):

$$Y = -37.2 + 0{,}320A + 94.1B - 0.001165A \times A - 41.39B \times B + 0.022A \times B \quad (4)$$

where Y represents oil recovery and A and B represent screw auger speed and the size of the cake outlet, respectively.

Table 3 shows the ANOVA analysis of the predicted model for the screw pressing of flaxseed oil. The effect of the process parameters was evaluated by their significance ($p < 0.05$) with a R^2 of 97.16 and adjusted R^2 of 95.12.

Table 3. **Analysis of variance of results of flaxseed oil obtained by pilot plant screw press**

Таблица 3. **Дисперсионный анализ результатов получения льняного масла с помощью опытной установки шнекового пресса**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	p-Value
Model	5	686.935	137.387	47.81	0.000
Linear	2	41.032	20.516	7.14	0.020
A	1	3.765	3.765	1.31	0.290
B	1	27.067	27.067	9.42	0.018
Square	2	154.119	77.060	26.82	0.001
A*A	1	20.950	20.950	7.29	0.031
B*B	1	152.994	152.994	53.25	0.000
2-way interaction	1	0.053	0.053	0.02	0.896
A*B	1	0.053	0.053	0.02	0.896
Error	7	20.113	2.873		
Inconsistency	3	20.004	6.668	243.18	0.000
Pure Error	4	0.110	0.027		
Total	12	707.048			

2.7. Volatile acids profile / analysis of the fatty acid composition of the oil

Further analysis was executed by Gas Chromatography — Mass Spectrometry (GC–MS) on the selected samples of flaxseed oil. The specific column in the Table 2 proves that this amount of the oil pressed in the mode No. 4 was obtained at the highest extraction temperature and with the highest MO. Besides, flaxseed oil extracted by supercritical fluid extraction method, as described in [25], was also analyzed for its comparison.

Previous to their analysis by GC–MS, oil samples were derivatized, and fatty acid methyl esters (FAMEs) were prepared: 0.1 g of the oil sample was used under nitrogen shield; 1 ml of toluol, and 1 ml of BF3-MeOH reagent were added into the flask. The solution was heated in water bath and maintained at 60 °C for 10 min; then it was cooled down to the room temperature. Double distilled (1 ml) water was added to the resulting solution and mixed for 5 minutes. The injection volume of the sample was 0.1µl.

Conditions for GC–MS analyses were as follows: The fatty acid composition / volatile acids profile of oil samples was determined by the device Agilent Technology (USA) GC 7890B/ MS7000D, equipped with a DB-FATWAX UI capillary column (30 m x 0.25 mm i. d., 0.25 µm film thickness). Helium was used as the carrier gas. The temperature program of the column oven started at 170 °C was hold during 2 min, and then it was raised at a rate of 4 °C /min to 280 °C and was kept at this level for 5 min. The temperatures of the detector and the injector were both of 280 °C. The detected compounds were identified by their comparison with WILEY275 Mass Spectral Database library.

3. Results and discussion

3.1. Effects of process variables on oil recovery

Significant effects were observed on the oil recovery (as shown in the Table 3) in the following sources: the size of the cake outlet provided the linear effect (also displayed below in the Figure 1) with ($p < 0.05$).

Experiments with high rotational speeds were run by the author [26]. Researcher [26] studied the effect of the temperature inside the cylinder for the seeds of *Jatropha curcas* L.

Generally, pressure increases along the cylinder toward the outlet inside of the screw press. The highest temperature is registered in the compression zone and close to the cake outlet. Outlet size of the press impacts on oil recovery as well as in productivity. If the outlet size decreases, it affects the flow of the seeds inside the cylinder; as a result, pressure and temperature rise up, oil recovery improves, and oil content in the cake decreases. On the contrary — if the size of the cake outlet is expanded, it may decrease the pressure in the cylinder, and reduce the rate of the oil recovery. Therefore, the outlet size is one of the variables that we have studied.

Screw speed is another process parameter that may affect oil quality and quantity. An increase of screw speed may reduce the oil amount; this is explained by the shorter time of pressing and shorter friction, as well as by viscosity of the phase.

At slow screw speeds oil recovery increases but temperature of the oil and cake rises too due to the longer pressure effect between the screw and the inner surface of the cylinder plus friction among seeds. Therefore, we have chosen the aforementioned variables of the mechanical screw press machine for their optimization [27].

We selected a higher screw speed based on the assumption that the shorter pressing and shorter friction time would result in lower temperatures in the cylinder, thus leading to less oxidation and thermal effects on the oil, especially considering that flaxseed oil contains high levels of polyunsaturated fatty acids. Besides, it would prevent clogging within the pressing chamber. Our aim was the optimization of higher screw speeds along with the various sizes of the cake outlet, considering that the [21] did not impose any limitations on the quality characteristics of oil at the lower screw speeds or the higher process temperatures.

The Table 2 shows the experimental and predicted responses of the screw pressing of flaxseed oil under the considered conditions. According to experimental results, the highest oil recovery was 41.4% at a screw speed of 155.89 rpm (A), and at the size of the cake outlet of 1 mm (B) (Table 2 No. 4). Prediction model suggested different values on both A and B values (135.11 rpm and 1.25 mm respectively) (Table 2 No.12), what would have yielded a 41.45% oil recovery in the trial run No. 12 (where, under experimental conditions, OR% accounted to 39.8%).

Although the overall trend in oil recovery showed a rising yield behavior when screw speeds increased from 98.73 up to 213.05 rpm, fluctuations were observed in the oil recovery with varying the size of the cake outlet. However, it's interesting that no significant effects of the screw speeds on the oil recovery were observed (Table 3). However, there was an inversely-proportional correlation between the oil recovery and the size of the cake outlet. This may be due to the linear significant effect of the size of the cake outlet on the oil recovery ($p < 0.05$) (Table 3), caused by changes in friction forces; probably due to the pressure increase in the third zone of the cylinder, which is the closest to the cake outlet. In summary, screw speed provided a minor effect while outlet cake size provided a strong effect on the oil recovery (Figure 2 (a) and (b)). This could be due to the moisture content of the seed which may affect the interaction between friction force and rate of sliding of the seed material inside of the cylinder at the tested screw rotation speeds. These results are consistent with the previous reports of a similar study to optimize the sesame seed oil extraction by screw-pressing [28]. Therefore, the practical meaning of RSM findings (Figure 1) is that despite preserving the other conditions of the process, the changes in the screw pressing parameters during extraction may give the optimal percentages of the oil recovery. As shown in the Table 2, the oil recovery rate was the highest in the trial run No. 4, and the lowest one was observed in the trial run No. 6 (14.88%). It is worth mentioning that during the experiment, two jammings occurred (in the run No. 4 and No. 12), which could have been caused by the higher temperatures during the process.

The aim of this study was to maximize the OR% by adjusting conditions at the flax screw press operation. Other studies have reported the higher recoveries of the oil after the optimization of conditions for screw pressing of the vegetable materials. At their study, Marcela et al obtained 71.1 ± 2.8% OR in sesame seed, after adjusting screw press speed, the size of the cake outlet and moisture content [29]. For obtaining green juice from cassava at a recovery percentage of 81%, Latif et al found the optimal conditions at 18 rpm screw speed, and outlet diameter of 4 mm [15]. However, those studies were performed on different vegetable materials,

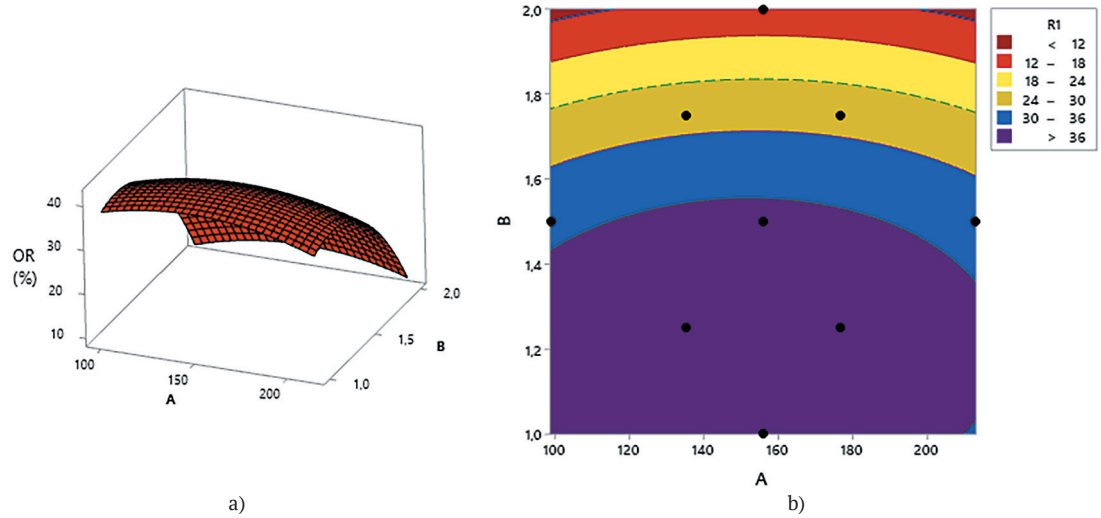


Figure 2. **Effects of the screw speed and the size of the cake outlet on flaxseed oil recovery at the pilot screw pressing plant (surface (a) and contour plot (b))**

Рисунок 2. **Влияние скорости вращения шнека и размера отверстия для выхода жмыха на объем извлекаемого льняного масла на опытной промышленной шнековой пресс-установке для отжима масла (поверхностная (a) и контурная диаграмма (b))**

as well as at pilot-scale equipment with high screw speeds, thus, results may not be easily transferred to the flaxseed oil obtained from flaxseed meal. According to the model, for our study, the optimal predicted conditions are as follows: the screw speed is 148.38 rpm, and the size of the cake outlet is 1.17 mm (with a predicted oil recovery of 41.91%).

3.2. Oil quality and characteristics

PV (peroxide value) and AV (acid value) are commonly used as the quality indicators of the vegetable oils. Hydroperoxides are primary oil oxidation products formed during the initial stages of oxidation and they are toxic to human health, whereas AV measures the amount of secondary oxidation products which contribute to unpleasant flavors and odors in oil. PV and AV should be within specific limits to ensure that oil quality is good enough for its safety consumption [21]. After changing the different variables in the experiment, the average temperature of the oil changed as well (Table 2); however, although indicators of oil quality such as AV and PV did show significant differences among the various runs, specified in the Table 2, they still remained within the limits specified at the [21].

Sediments content (SC) of oil, one more important factor which may be considered in oil consumption, varied from 9.12 to 14%. The highest value, in the run No. 4, may have been related to the higher internal friction force caused by a smaller size of the cake outlet; thus, the number of fine particles within the oil may have increased.

Omega-6 and omega-3 fatty acids are both essential for human health; however, their intake should be balanced. According to several studies, the proper omega 6/omega 3 ratio should vary between 1:1 and 4:1, as it was in the diet of our ancestors in the pre-industrial period (paleodiet). However, the current modern diet contains an extremely high amount of omega-6, where omega 6/omega 3 ratio may reach 20:1 or more. This is explained by the high consumption of red meat, vegetable oil, and highly processed food which contains omega-6 in very high quantities, plus a lack in the consumption of omega-3 rich foods such as fish. An imbalance in the intake ratio of omega 6/omega 3 can cause negative consequences for health, as omega-6 fatty acids are the precursors of inflammatory molecules, while omega-3 are the precursors of anti-inflammatory molecules. As a consequence of this unbalanced ratio, the risk of cardiovascular disease, diabetes, arthritis, Alzheimer's, and some types of cancer, has increased. Therefore, it is favorable to have a low ratio in our diet, as it may help reduce inflammation and cure some chronic diseases [30]. Flaxseed oil is known for its low omega 6/omega 3 ratio, thus a potential functional food with health improving properties [3,4,31]. However, the high amount of unsaturated fatty acids may make it sensitive to oxidation and inclined to degradation [3]; therefore, the effect of temperature during the extraction on the omega-6 and omega-3 fatty acids on flaxseed oil obtained by screw pressing was evaluated by analyzing the fatty acid profile of oil obtained from the run No. 4, where temperature reaches its maximum.

While typically the temperature of oil extracted by cold pressing and screw pressing should not exceed 50 °C and 70 °C, respectively [10]; the oil, obtained from the run No. 4 reached a high temperature of 102 °C. However, its fatty acid profile, as determined by GC–MS and compared to the oil extracted by supercritical fluid extraction (SFE) at 50 °C, 30 MPa, showed that in both cases, polyunsaturated fatty acids (PUFA) are the most abundant acids, followed by saturated fatty acids (SFA), and finally the list of acids is closed with the monounsaturated fatty acids (MUFA); plus, ALA as the most abundant individual fatty acid, with a percentage of over 60% in both cases. When compared to the fatty acid profile obtained by cold pressing of flaxseed [4], the results are similar as well, regarding ALA as the most abundant individual oil, and PUFA as the most abundant type of oil in general (Table 4). However, in this last case, it is not possible to compare these profiles, because the source of flaxseed used for oil extraction was different.

Table 4. **Fatty acid profile (in area percentage of total chromatogram). * refers to [4]**

Таблица 4. **Профиль жирных кислот (в процентах площади от общей хроматограммы) *[4]**

Fatty acid	Cold extraction*	Run No. 4	SFE
Palmitic	6.95	8.17	8.92
Linoleic	15.2	9.56	8.45
Linolenic	52.58	63.64	68.83
Oleic	19.98	10.89	8.57
Stearic	5.2	7.44	4.56
Behenic acid	0.07	0.3	0.05
Arachidic	0.02	0	0.62
SFA	12.24	15.91	14.15
MUFA	19.98	10.89	8.57
PUFA	67.78	73.2	77.28
omega 6/omega 3	0.28	0.15021999	0.12276624

Although the effect of temperature on the fatty acid profile in all cases should be studied, we can still conclude that the high temperature of oil at the outlet did not affect the major quality parameters of oil in the run No. 4 regarding both parameters of food quality as it was defined in the Codex Alimentartius (AV and PV) [21], or the fatty acid profile, specifically related to the ratio of omega 6 to omega 3.

4. Conclusions

RSM was applied to optimize the parameters of flaxseed oil screw pressing. The optimal experimental and mathematically predicted values of screw speed and the size of the cake outlet were defined as 155.89 rpm, 1 mm and 148.38 rpm, 1.17 mm respectively. Sediments content in the obtained oil was relatively high. The oil quality parameters were changed by the modifying of the process variables, although they remained within the specifications defined by the Codex Alimentarius; while the fatty acid profile related to potential health benefits on its omega-6 to omega-3 still remained favorable even in the worst-case scenario in terms of temperature.

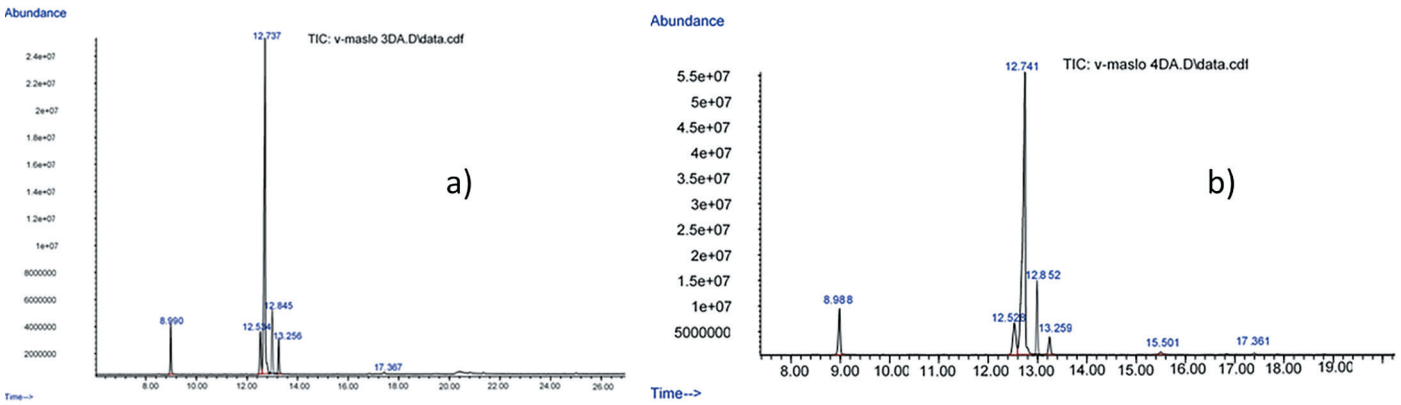


Figure 3. **Chromatograms of the flax seed oils: a) run No 4; and b) SFE**

Рисунок 3. **Хроматограммы масел из льняного семени: a) опыт № 4; и b) СФЭ**

REFERENCES / БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dzuvor, C.K.O., Taylor, J.T., Acquah, C., Pan, S., Agyei, D. (2018). Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed. *Molecules*, 23, Article 2444. https://doi.org/10.3390/molecules23102444
2. Bakowska-Barczak, A., de Larminat, M.A., Kolodziejczyk, P.P. (2020). The application of flax and hempseed in food, nutraceutical and personal care products. Chapter in a book: The Textile Institute Book Series, Handbook of Natural Fibres (Second Edition), Woodhead Publishing. Sawston, Cambridge, 2020. https://doi.org/10.1016/b978–0–12–818782–1.00017–1
3. Zhang, T, Zhang, Z, Wang, X. (2023). Composition and antioxidant ability of extract from different flaxseed cakes and its application in flaxseed oil. *Journal of Oleo Science*, 72(1), 59–67. https://doi.org/10.5650/jos.ess22181.
4. Hasanov, J.H., Mirzahmedov, S.D., Berdiev, N., Salikhov, S.I. (2022). Formation of preliminary oil blends based on fatty acid compositions of oil-bearing sources. *Journal of Chemistry and Technologies*, 30(4), 513–519. https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i4.263838
5. Grajzer, M., Szmalcel, K., Kuźmiński, Ł., Witkowski, M., Kulma, A., Prescha, A. (2020). Characteristics and antioxidant potential of cold-pressed oils — possible strategies to improve oil stability. *Foods*, 9, Article 1630. https://doi.org/10.3390/foods9111630
6. De Silva, S.F., Alcorn, J. (2019). Flaxseed lignans as important dietary polyphenols for cancer prevention and treatment: Chemistry, pharmacokinetics, and molecular targets. *Pharmaceuticals*, 12(2), Article 68. https://doi.org/10.3390/ph12020068.
7. Grajzer, M., Wiatrak, B., Gębarowski, T., Matkowski, A., Grajeta, H., Rój, E. et al. (2021). Chemistry, oxidative stability and bioactivity of oil extracted from Rosa rugosa (Thunb.) seeds by supercritical carbon dioxide. *Food Chemistry*, 335, Article 127649. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127649
8. Madhujith, T., Sivakanthan, S. (2019). Oxidative Stability of Edible Plant Oils. Chapter in a book: Bioactive Molecules in Food. Springer, Cham, 2019. https://doi.org/10.1007/978–3–319–78030–6_94
9. Choe, E., Min, D.B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(4), 169–186. https://doi.org/10.1111/j.1541–4337.2006.00009.x
10. Bhargavi, G., Nageswara Rao, P., Renganathan, S. (1–2 June, 2018). *Review on the extraction methods of crude oil from all generation biofuels in last few decades*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 330, International Conference on Recent Advances in Materials, Mechanical and Civil Engineering, Hyderabad, India. https://doi.org/10.1088/1757–899X/330/1/012024
11. Campos, J.R., Severino, P., Ferreira, C.S., Zielinska, A., Santini, A., Souto, S.B. et al. (2019). Linseed essential oil — source of lipids as active ingredients for pharmaceuticals and nutraceuticals. *Current Medicinal Chemistry*, 26(24), 4537–4558. https://doi.org/10.2174/0929867325666181031105603
12. Tańska, M., Roszkowska, B., Skrajda, M., Dąbrowski, G. (2016). Commercial cold pressed flaxseed oils quality and oxidative stability at the beginning and the end of their shelf life. *Journal of Oleo Science*, 65(2), 111–121. https://doi.org/10.5650/jos.ess15243.
13. Wang, S., Zhang, Z.-S., Zhang, T.-F., Wang, X.-D. (2020). Extraction and characterization of flaxseed oil obtained with subcritical n-Butane. *Journal of Oleo Science*, 69(9), 1011–1020. https://doi.org/10.5650/jos.ess20051.
14. Lv, M., Wu, W. (2021). Simultaneous recovery of high quality black sesame oil and defatted meal by a new aqueous method: Optimization and comparison with other methods. *Journal of Oleo Science,* 70(9), 1211–1223. https://doi.org/10.5650/jos.ess21067.
15. Latif, S., Romuli, S., Barati, Z., Müller, J. (2020). CFD assisted investigation of mechanical juice extraction from cassava leaves and characterization of the products. *Food Science and Nutrition*, 8(7), 3089–3098. https://doi.org/10.1002/fsn3.1517
16. Piseskul, J., Suttisansanee, U., Chupeerach, C., Khemthong, C., Thangsiri, S., Temviriyanukul, P. et al. (2023). Optimization of enzyme-assisted mechanical extraction process of hodgsonia heteroclita oilseeds and physical, chemical, and nutritional properties of the oils. *Foods*, 12(2), Article 292. https://doi.org/10.3390/foods12020292
17. Hasanov, J.H., Mirzaxmedov, Sh.D., Sultonova, E.M., Salikhov, Sh.I. (2023). Effect of moisture content on the quality and quantity of screw-pressed flax seed oil. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(2), 309–315. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2023–2–2434
18. Hasanov, J, Navro'zov, S. (November 7, 2019). *Extraction of seed oils with rich sources of fatty asids*. Scientific Conference of Ph D. Students of FAFR, FBFS and FHLE SUA in Nitra with international participation. Nitra, Slovak Republic.
19. Hasanov, J.H., Mirzaxmedov, Sh.D., Salikhov, Sh.I. (November 2, 2021). *Screw pressed (Linum usitatissimum) oil*. Book of Abstracts of the 5th International Scientific Conference Agrobiodiversity for Improving the Nutrition, Health, Quality of Life and Spiritual Human Development. Nitra, Slovak Republic. https://doi.org/10.15414/2021.9788055224015
20. NVF2G Inverter. Retrieved from https://www.chint.cz/uploads/engintr_pdf/NVF2.pdf Accessed June 12, 2023
21. FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. (1999). Codex Standard for Named Vegetable Oils (CODEX-STAN210–1999). Rome: World Health Organization: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1999.
22. Draper, N.R. (1992). Introduction to Box and Wilson (1951) on the experimental Attainment of Optimum Conditions. Chapter in a book: Breakthroughs in Statistics. Springer Series in Statistics. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978–1–4612–4380–9_22
23. Sarabia, L.A., Ortiz, M.C. (2009). Response Surface Methodology. Chapter in a book: Comprehensive Chemometrics. Chemical and Biochemical Data Analysis. Elsevier, 2009. https://doi.org/10.1016/b978–044452701–1.00083–1
24. Ramesh, N. (2009). The role of Minitab in teaching and learning statistics, *MSOR Connections*, 9(3), 9–13. https://doi.org/10.11120/msor.2009.09030009
25. Hasanov, J., Salikhov., S, Oshchepkova, Y. (2023). Techno-economic evaluation of supercritical fluid extraction of flaxseed oil. *The Journal of Supercritical Fluids,* 194, Article 105839. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2023.105839
26. Karaj, S., Müller, J. (2011). Optimizing mechanical oil extraction of Jatropha curcas L. seeds with respect to press capacity, oil recovery and energy efficiency. *Industrial Crops and Products,* 34(1), 1010–1016. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.03.009
27. Kartika, I.A., Pontalier, P.Y, Rigal, L. (2006). Extraction of sunflower oil by twin screw extruder: Screw configuration and operating condition effects. *Bioresource Technology,* 97(18), 2302–2310. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.10.034
28. Martínez, M.L., Bordón, M.G., Lallana, R.L., Ribotta, P.D., Maestri, D.M. (2017). Optimization of sesame oil extraction by screw-pressing at low temperature. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 1113–1121. https://doi.org/10.1007/s11947–017–1885–4
29. González-Torres, P., Puentes, J.G., Moya, A.J., La Rubia, M.D. (2023). Comparative study of the presence of heavy metals in edible vegetable oils. *Applied Sciences*, 13, Article 3020. https://doi.org/10.3390/app13053020
30. Semenov, V., Volkov, S., Khaydukova, M., Fedorov, A., Lisitsyna, I., Kirsanov, D. et al. (2019). Determination of three quality parameters in vegetable oils using potentiometric e-tongue. *Journal of Food Composition and Analysis*, 75, 75–80. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.09.015
31. Hidayat, K., Yang, J., Zhang, Z., Chen G. C., Qin L. Q., Eggersdorferet, M. et al. (2018). Effect of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acid supplementation on heart rate: a meta-analysis of randomized controlled trials. *European Journal of Clinical Nutrition*, 72(6), 805–817. https://doi.org/10.1038/s41430–017–0052–3

AUTHOR INFORMATION	СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Affiliation	**Принадлежность к организации**
Sherzod D. Mirzaxmedov, PhD Student, Department of Service Technique, Islam Karimov Tashkent State Technical University 2, University str., 100011, Tashkent, Uzbekistan Tel: +99–894–938–68–99 E-mail: mirzaxmedovsherzod84@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0003–3378–5679	**Мирзахмедов Шерзод Дилмуродович** — аспирант, кафедра техническое обслуживание техники, Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова 100011, Узбекистан, Ташкент, ул. Университетская, 2 Тел.: +99–894–938–68–99 E-mail: mirzaxmedovsherzod84@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0003–3378–5679
Jahongir H. Hasanov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Chemistry of Proteins and Peptides, Institute of Bioorganic Chemistry of the Academy of Sciences of Uzbekistan 83, Mirzo Ulug'bek str., 100125, Tashkent, Uzbekistan Tel: +99–894–321–44–16 E-mail: hasanovjahongir1980@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0003–4095–8734 * corresponding author	**Хасанов Жахонгир Ҳикматиллоевич** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лаборатория химии белков и пептидов, Институт биоорганической химии Академии наук Республики Узбекистан 100125, Узбекистан, Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83 Тел.: +99–894–321–44–16 E-mail: hasanovjahongir1980@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0003–4095–8734 * автор для контактов
Octavio Calvo-Gomez, D. Sc., Profesor of Food Technology, Tashkent Institute of Chemical Technology 32, A. Navoi str., 32. Tashkent, Uzbekistan Tel: +99–895–977–19–75 E-mail: Octavio.calvo@tkti.uz ORCID: https://orcid.org/0000–0002–7284–518X	**Октавио Калво Гомес** — доктор, профессор, кафедра технологии пищевых продуктов, Ташкентский химико-технологический институт Узбекистан, Ташкент, ул. А. Навои, 32 Тел.: +99–895–977–19–75 E-mail: Octavio.calvo@tkti.uz ORCID: https://orcid.org/0000–0002–7284–518X

Elvira M. Sultonova, Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Chemistry of Proteins and Peptides, Institute of Bioorganic Chemistry of the Academy of Sciences of Uzbekistan
83, Mirzo Ulug'bek str., 100125, Tashkent, Uzbekistan
Tel: +99–871–262–35–44
E-mail: elvir54@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–9860–6814

Султонова Элвира Митхатовна — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, лаборатория химия белков и пептидов, Институт биоорганической химии Академии наук Республики Узбекистан
100125, Узбекистан, Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83
Тел.: +99–871–262–35–44
E-mail: elvir54@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–9860–6814

Erkinjon H. Nematov, Ph.D., Docent, Department of Theoretical Mechanics, Theory of Machines and Mechanisms, Islam Karimov Tashkent State Technical University
2, University str., 100011, Tashkent, Uzbekistan
Tel: +99–899–831–17–83
E-mail: nematovh@gmail.com
ORCID: http://orcid.org/ 0000–0002–4178–0168

Нематов Эркинжон Ҳамроевич — кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической механики, теории машин и механизмов, Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
100011, Узбекистан, Ташкент, ул. Университетская, 2
Тел.: +99–899–831–17–83
E-mail: nematovh@gmail.com
ORCID: http://orcid.org/0000–0002–4178–0168

Abdusamad H. Nabiyev, Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher Scientist, Technology of Fats, Essential Oils and Perfumery and Cosmetic Products, Institute of Bioorganic Chemistry of the Academy of Sciences of Uzbekistan
83, Mirzo Ulug'bek str., 100125, Tashkent, Uzbekistan
Tel: +99–890–984–75–45
E-mail: Nabiyev755@inbox.ru
ORCID: http://orcid.org/0000–0002–5630–3196

Набиев Абдусамад Ҳамидович — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметической продукции, Институт биоорганической химии Академии наук Республики Узбекистан
100125, Узбекистан, Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83
Тел.: +99–890–984–75–45
E-mail: Nabiyev755@inbox.ru
ORCID: http://orcid.org/0000–0002–5630–3196

Contribution	**Критерии авторства**
The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.	Автор имеет единоличное отношение к написанию рукописи и несет ответственность за плагиат
Conflict of interest	**Конфликт интересов**
The author declare no conflict of interest.	Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-365-389

Received 12.04.2023
Accepted in revised 04.09.2023
Accepted for publication 09.09.2023
© Luthfiana D., Soleha M., Prasetiyo A., Kusuma W. A., Fatriani R., Nurfadhila L., Yunitasari N., Ahkam A. H., Wargasetia T. L., Irfandi R., Ansori A. N. M., Kharisma V. D., Naw S. W., Ullah E., Jakhmola V., Zainul R., 2023
Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

NETWORK PHARMACOLOGY AND MOLECULAR DOCKING STUDY TO REVEAL THE POTENTIAL ANTICANCER ACTIVITY OF OSCILLATOXIN D, E, AND F MARINE CYTOTOXINS

Dewi Luthfiana[1], Maratu Soleha[2], Andri Prasetiyo[3], Wisnu A. Kusuma[4,5], Rizka Fatriani[5], Lina Nurfadhila[6], Norainny Yunitasari[7], Ahmad H. Ahkam[8], Teresa L. Wargasetia[9], Rizal Irfandi[10], Arif N. M. Ansori[11,12], Viol D. Kharisma[13,14], Sin W. Naw[15], Emdad Ullah[16], Vikash Jakhmola[11], Rahadian Zainul[17]*

[1] Bioinformatics Research Center, Indonesian Institute of Bioinformatics (INBIO), Malang, Indonesia
[2] National Research and Innovation Agency, Banten, Indonesia
[3] Department of Pharmaceutical Science, Faculty of Pharmacy, Pancasila University, South Jakarta, Indonesia
[4] Department of Computer Science, Faculty Mathematics and Natural Sciences, IPB University, Bogor, Indonesia
[5] Tropical Biopharmaca Research Center, IPB University, Bogor, Indonesia
[6] Department of Pharmacy, Faculty of Health Sciences, Singaperbangsa Karawang University, Karawang, Indonesia
[7] Faculty of Health, University of Muhammadiyah Gresik, Gresik, Indonesia
[8] Faculty of Pharmacy, Padjadjaran University, Sumedang, Indonesia
[9] Faculty of Medicine, Maranatha Christian University, Bandung, Indonesia
[10] Department of Biology Education, Faculty of Teacher Training and Education, Universitas Puangrimaggalatung, Sengkang, Indonesia
[11] Uttaranchal Institute of Pharmaceutical Sciences, Uttaranchal University, Dehradun, India
[12] Postgraduate School, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia
[13] Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia
[14] Division of Molecular Biology and Genetics, Generasi Biologi Indonesia Foundation, Gresik, Indonesia
[15] Department of Chemistry, Myitkyina University, Myitkyina, Myanmar
[16] Department of Chemistry, Mississippi State University, Mississippi, United States
[17] Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

KEY WORDS:
mechanism of action, molecular docking, network pharmacology, oscillatoxins

ABSTRACT

Oscillatoxins (OTXs) are cytotoxins produced by some marine cyanobacteria. Their unique structures show a great potency as an anticancer agent. The limited availability of OTX derivatives in nature provides little information about their biological activity. Some of OTX activities have been tested in the *in vitro* or *in vivo* studies toward cancer cell lines, but their exact mechanism of action on the target is unclear. In this study, we used the network pharmacology analysis method to predict the target and mechanism of action of oscillatoxin D (OTX-D), 30 methyl oscillatoxin D (30-methyl-OTX-D), oscillatoxin E (OTX-E), and oscillatoxin F (OTX-F). There are 20 possible targets of the four compounds toward cancer, and the main targets of them are PIK3CA, CDK1, and MTOR. This was also followed by the molecular docking study to understand the interaction between the four compounds and their targets. Molecular docking showed that the four compounds interacted well with the key targets. In this study, four derivatives of OTXs and their three key targets for the anticancer action were revealed suggesting multiple signaling pathways, including PD-L1 expression and PD-1 checkpoint pathway in cancer, proteoglycans in cancer, and pathways in cancer, establishing a theoretical framework for the further experimental study.

FOR CITATION: **Luthfiana, D., Soleha, M., Prasetiyo, A., Kusuma, W.A., Fatriani, R., Nurfadhila, L. et al.** (2023). Network pharmacology and molecular docking study to reveal the potential anticancer activity of Oscillatoxin D, E, and F marine cytotoxins. *Food Systems*, 6(3), 365-389. https://doi.org/10.21323/2618-97712023-6-3-365-389

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Лютфиана, Д., Салеха, М., Прасетийо, А., Кусума, В.А., Фатриани, Р., Нурфадхила, Л. и др.** (2023). Исследование методом сетевой фармакологии и молекулярного докинга для выявления потенциальной противораковой активности морских цитотоксинов — осциллатоксинов D, E, и F. *Пищевые системы*, 6(3), 365-389. https://doi.org/10.21323/2618-97712023-6-3-365-389

Поступила 12.04.2023
Поступила после рецензирования 04.09.2023
Принята в печать 09.09.2023
© Лютфиана Д., Салеха М., Прасетийо А., Кусума В. А., Фатриани Р., Нурфадхила Л., Юнитасари Н., Ахкам А. Х., Варгасетия Т. Л., Ирфанди Р., Ансори А. Н. М., Харишма В. Д., Нау С.В., Улла Э., Яхмола В., Зайнул Р., 2023
https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ СЕТЕВОЙ ФАРМАКОЛОГИИ И МОЛЕКУЛЯРНОГО ДОКИНГА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОТИВОРАКОВОЙ АКТИВНОСТИ МОРСКИХ ЦИТОТОКСИНОВ — ОСЦИЛЛАТОКСИНОВ D, E, И F

Лютфиана Д.[1], Салеха М.[2], Прасетийо А.[3], Кусума В. А.[4,5], Фатриани Р.[5], Нурфадхила Л.[6], Юнитасари Н.[7], Ахкам А. Х.[8], Варгасетия Т. Л.[9], Ирфанди Р.[10], Ансори А. Н.М.[11,12], Харишма В. Д.[13,14], Нау С. В.[15], Улла Э.[16], Яхмола В.[11], Зайнул Р.[17]*

[1] Исследовательский центр биоинформатики Индонезийского института биоинформатики (INBIO), Маланг, Индонезия
[2] Национальное агентство исследований и инноваций, Бантен, Индонезия
[3] Отделение фармацевтических наук, фармацевтический факультет, Университет Панкасила, Южная Джакарта, Индонезия
[4] Кафедра компьютерных наук, факультет математики и естественных наук, Университет IPB, Богор, Индонезия
[5] Исследовательский центр тропической биофармацевтики, Университет ИПБ, Богор, Индонезия
[6] Кафедра фармации, факультет медицинских наук, Сингапурский университет Бангса Караванг, Караванг, Индонезия
[7] Факультет здравоохранения, Университет Мухаммадии Гресик, Гресик, Индонезия
[8] Фармацевтический факультет Университета Паджаджаран, Сумеданг, Индонезия
[9] Факультет медицины, Христианский университет Мараната, Бандунг, Индонезия
[10] Кафедра биологического образования, факультет подготовки учителей и просвещения, Университет Пуангримаггалатунг, Сенгканг, Индонезия
[11] Уттаранчальский институт фармацевтических наук, Университет Уттаранчал, Дехрадун, Индия
[12] Департамент аспирантуры, Университет Айрланга, Сурабая, Индонезия
[13] Кафедра биологии, факультет науки и техники, Университет Айрланга, Сурабая, Индонезия
[14] Отдел молекулярной биологии и генетики, Индонезийский фонд Generasi Biologi, Гресик, Индонезия
[15] Кафедра химии, Университет Мьиткьина, Мьиткьина, Мьянма
[16] Химический факультет, Университет штата Миссисипи, Миссисипи, США
[17] Кафедра химии, факультет математики и естественных наук, Университет Негери Паданг, Паданг, Индонезия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
механизм действия, молекулярный докинг, сетевая фармакология, осциллатоксины

АННОТАЦИЯ

Осциллатоксины (OTXs) — это цитотоксины, продуцируемые некоторыми морскими цианобактериями. Их уникальные структуры показывают высокую эффективность в качестве противораковых средств. Ограниченная доступность производных OTXs в природе дает мало информации об их биологической активности. Было тестировано несколько активностей OTXs в исследованиях *in vitro* или *in vivo* в отношении линий раковых клеток, но их точный механизм действия на мишень не ясен. В данном исследовании мы использовали метод сетевой фармакологии для прогнозирования мишеней и механизмов действия осциллатоксина D (OTX-D), 30 метил-осциллатоксина D (30-метил-OTX-D), осциллатоксина E (OTX-E), и осциллатоксина F (OTX-F). Существуют 20 возможных мишеней четырех соединений против рака и их основными мишенями являются PIK3CA, CDK1 и MTOR. Затем было проведено исследование методом молекулярного докинга для понимания взаимодействия между 4 соединениями и их мишенями. Молекулярный докинг показал, что 4 соединения хорошо взаимодействовали с ключевыми мишенями. В данной работе было выявлено 4 производных OTXs и 3 ключевых мишени для противоракового действия, указывая на множественные сигнальные пути, включая путь экспрессии PD-L1 и контрольной точки PD-1 при раке, протеогликаны при раке и пути при раке, устанавливая теоретические рамки для дальнейшего экспериментального исследования.

1. Introduction

Marine natural products have abundant sources of biologically active agents. Oscillatoxins (OTXs), as one of the examples, are marine cytotoxins resulting from some cyanobacterial species, including *Lyngbya, Schizothrix,* and *Oscillatoria* spp. OTXs have the characteristic feature of the spiro-ether skeleton. However, their availability from natural sources is limited, thus the biological profile of OTX derivatives is also still scarce. More recently, Araki's group conducted the total synthesis of OTXs, which resulted in OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F [1]. Even though the experimental analysis was conducted toward cancer cell lines, the mechanism of action and the specific target of each compound remain unclear, so target identification is required.

In the drug development, target identification aids understanding drug mechanism of action and side effects, thus accelerating the discovery-to-market process. Insufficient knowledge of drug mechanism of action including its target is one of the main causes of a failure of potential drug candidates in clinical trials. In addition, understanding drug target can minimize drug's lack of efficacy and the occurrence of off-target effects, which often cause drug side effects [2,3]. As such, more stringent methods are required to validate the targets of potential drugs prior to being progressed to the clinic.

This study predicted the potential target and pharmacological activity of OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F through network pharmacological analysis and molecular docking. In network analysis we studied the interaction between OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F and their potential targets. Network pharmacology is a study to predict the pathway between possible multiple targets and compounds by clustering protein in relation to several proteins by measuring parameters such as betweenness centrality, degree, and closeness centrality. In molecular docking, we investigated the interaction and binding energy of OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F toward the targets. Before conducting docking simulation, we determined the main targets based on the overlapping targets resulted from network pharmacology analysis.

In this study, network pharmacology analysis and molecular docking were used as a preliminary study to screen the activities of OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F towards receptors in cancer pathways. Then, the results can be followed by a wet lab experiment either *in vitro* or *in vivo*.

2. Materials and methods

2.1. Sample retrieval

The chemical compounds of oscillatoxins comprised of oscillatoxin D (CID: 101283546), 30-methyl-oscillatoxin D (CID: 185389), oscillatoxin E (CID: 156582093), and oscillatoxin F (CID: 156582092) obtained from PubChem [4] (Figure 1A, 1B, 1C, and 1D). All of the compounds were drawn manually using the SwissADME website [5] to obtain a SMILES code, then inserted to ChemSpider [6] to validate the structure's name.

2.2. Network Pharmacological Analysis

The Swiss Target Prediction database [7] and the SuperPred database [8] were used to collect the gene targets from 30-methyl oscillatoxin D, oscillatoxin D, oscillatoxin E, and oscillatoxin F compounds. Protein-Pro-

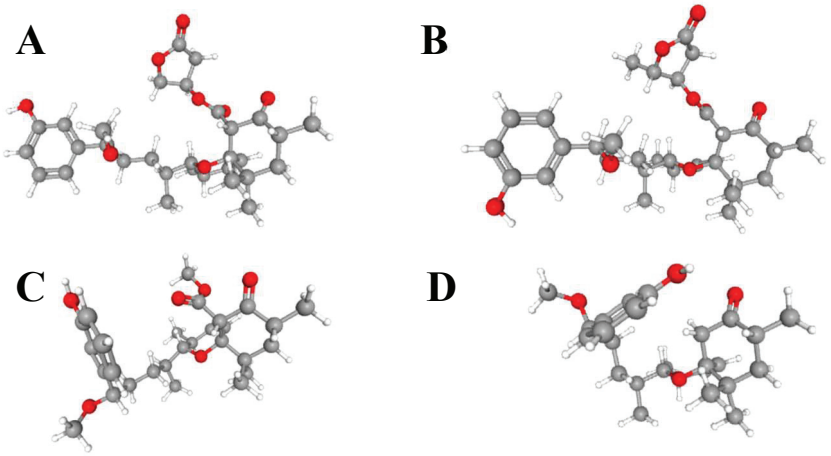


Figure 1. **Chemical compounds of oscillatoxin derivatives. A: oscillatoxin D (CID: 101283546); B: 30-methyl-oscillatoxin D (CID: 185389); C: oscillatoxin E (CID: 156582093), and D: oscillatoxin F (CID: 156582092)**

Рисунок 1. **Химические соединения производных осциллатоксина. A: осциллатоксин D (CID: 101283546); B: 30-метил-осциллатоксин D (CID: 185389); C: осциллатоксин E (CID: 156582093), и D: осциллатоксин F (CID: 156582092)**

tein Interaction Networks (PPI) were created using the STRING database [9] with the restriction of «Homo sapiens» and the following parameters: entire STRING network for network type, high confidence of 0.700 for the necessary score, and medium 5% for FDR stringency. Based on values for degree, betweenness centrality, and closeness centrality, the PPI network was examined using Cytoscape v3.8.2 software [10]. Based on the 20 target proteins with the highest overall centrality value, the sub-network was chosen. A web-based gateway for Gene Ontology (GO) and Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) analysis was Metascape [11]. Afterward, the Pathway Enrichment-Protein Network used Cytoscape v3.8.2 software [10] to visualize the findings of the enrichment study.

2.3. Selection of the protein receptor and control ligand

Four proteins were selected as docking target proteins from four synthesized oscillatoxin compounds, namely CDK1 (PDB ID: 6GU2), PIK3CA (PDB ID: 4JPS), and FKBP/MTOR (PDB ID: 1C9H). The control compound used was a standard drug registered in DrugBank [12], acted as an inhibitor, and was the original ligand of the target protein PDB. CDK1 and MTOR were chosen because they are target proteins from the SwissTargetPrediction and SuperPred databases, and PIK3CA was chosen to replace PIK3R1. This is because there are no experimental results showing PIK3R1 (Uniprot: P27986) to be the target of ligand inhibitors. In addition, PIK3R1 (p85) interacts directly with PIK3CA (p110) and builds PIK3 class I, where p110 is the catalytic domain and p85 is the regulatory domain [13]. Under these assumptions, it is still relevant to investigate the inhibitory effects of PIK3CA. The control compounds used in this study sequentially were Alvocidib/Flavapiridol (CID: 6602328), Alpelisib (CID: 56649450), and Sirolimus/Rapamycin (DrugBank: DB00877).

2.4. Receptor and Ligand Preparation

Receptors were prepared using Biovia Discovery Studio (ver. 19.1.0. Dassault Systemes Biovia) to remove the other ligands and water structures. The prepared receptor was then loaded into PyRx (ver. 0.9.2) and converted to autodock macromolecule format. Oscillatoxin ligand was also loaded in PyRx (ver. 0.9.2), then preparation was done by minimizing the energy based on the Universal Force Field and conversion to Autodock format (.pdbqt) was carried out in OpenBabel [14].

2.5. Molecular Docking Analysis

Molecular docking analysis was carried out using AutodockVina on PyRx (ver. 0.9.2.) The ligand was docked to the protein in rigid conditions at the control ligand binding site, with grid coordinates: CDK1, Center X: 328.447, Y: 214.494, Z: 192.322. Dimensions X: 22,808, Y: 21,990, Z: 20,955; PIK3CA, Center X: –0.276, Y: –8.268, Z: 18.500. Dimensions X: 21,715, Y: 22,604, Z: 23,597; FKBP1/MTOR, Center X: –19.054, Y: –5.071, Z: 192.322. Dimensions X: 23,607, Y: 21,714, Z: 23,078. Then, binding energy scores were recorded, and the representative one was visualized using Biovia Discovery Studio (ver. 19.1.0. Dassault Systemes Biovia). The docking process was done in an environment without water molecules. This was done to reduce the possibility of errors in the computational process due to the presence of water molecules [15]. However, the inclusion of water molecules in certain computational ligands can enrich them substantially and does not affect other ligands [16].

2.6. Chemical interaction and molecular visualization

2D visualization and interaction analysis were performed using Biovia Discovery Studio (ver 19.1.0. Dassault Systemes Biovia), and 2D visualization was performed using LigPlot+ © (ver.2.2.4. Roman Lakoskwi) [17].

3. Results

3.1. Construction and Analysis of the PPI Network

The number of target proteins obtained from the Swiss Target Prediction and SuperPred databases was 234 and 147, respectively. The target proteins were combined, and 341 proteins related to 30-methyl oscillatoxin D, oscillatoxin D, oscillatoxin E, and oscillatoxin F were found. The PPI network of 341 proteins was constructed using STRING and analyzed using Cytoscape software. PPI network analysis showed that out of 341 proteins, 283 proteins **(Supplementary Material)** interacted with each other with 1396 edges. The sub-network was selected based on the 20 proteins that had the highest overall centrality values, namely EGFR, STAT3, AKT1, ESR1, MAPK3, PIK3R1, APP, HSP90AB1, PIK3CA, JAK2, CASP3, NFKB1, FYN, MTOR, CDK1, HIF1A, LYN, HDAC1, MAPK14, and PTPN11 (Table 1).

Table 1. **PPI network analysis of 20 target proteins arranged by highest overall centrality with betweenness centrality, degree, and closeness centrality values**

Таблица 1. **Анализ сети PPI 20 целевых белков, упорядоченных по наивысшей общей центральности с уровнями центральности по посредничеству, по степени и центральности по близости**

No.	Name	Betweenness centrality	Closeness centrality	Degree	Overall centrality
1	EGFR	0.085069154	0.904761905	17	1.690852601
2	STAT3	0.071370767	0.904761905	17	1.690011254
3	AKT1	0.035941917	0.826086957	15	1.467265844
4	ESR1	0.03418289	0.76	13	1.305335287
5	MAPK3	0.042214543	0.791666667	14	1.238364503
6	PIK3R1	0.00850527	0.703703704	11	1.218657054
7	APP	0.004056648	0.575757576	5	1.188040767
8	HSP90AB1	0.017024042	0.655172414	9	1.136891746
9	PIK3CA	0.00850527	0.703703704	11	1.128962776
10	JAK2	0.00873269	0.678571429	10	1.107346493
11	CASP3	0.022082985	0.655172414	9	1.101921322
12	NFKB1	0.043253968	0.730769231	12	1.079738683
13	FYN	0.02289056	0.703703704	11	1.042095396
14	MTOR	0.009879075	0.678571429	10	1.023378462
15	CDK1	0.009607352	0.575757576	5	0.992376837
16	HIF1A	0.012043999	0.655172414	9	0.977125765
17	LYN	0.029646085	0.730769231	12	0.955158012
18	HDAC1	0.008479532	0.575757576	5	0.939202933
19	MAPK14	0.007247496	0.655172414	9	0.92794097
20	PTPN11	0.004645874	0.678571429	10	0.913589597

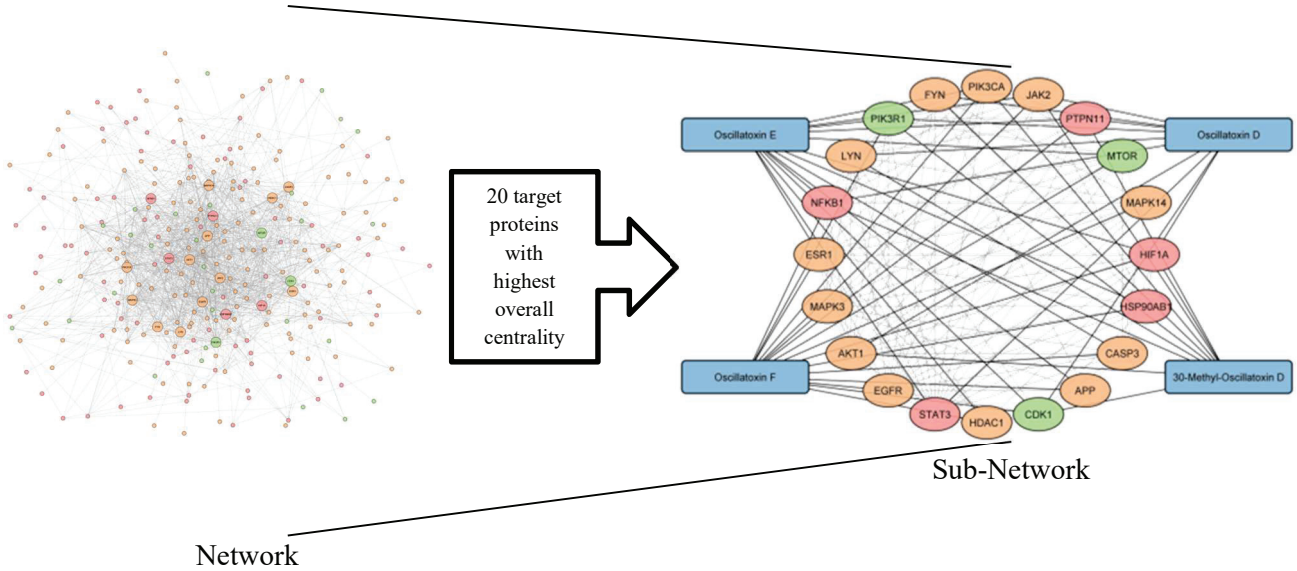


Figure 2. **Topological features of the PPI network and sub-network with high confidence: the orange nodes represent proteins from the Swiss Target Prediction database, the red nodes represent proteins from the SuperPred database, and the green nodes represent proteins from both**

Рисунок 2. **Топологические характеристики сети и подсети PPI с высокой достоверностью: оранжевые узлы представляют белки из базы данных Swiss Target Prediction, красные узлы представляют белки из базы данных SuperPred, а зелёные узлы представляют белки из обеих баз данных**

3.2. Enrichment analysis

Enrichment analysis, including GO and KEGG Pathway, was performed to explore biological processes, components, functions, and signaling pathways related to sub-network protein targets (Figure 2). The lowest LogP (the p-value in log base 10) of GO and KEGG Pathway is shown in Figure 3 and Figure 4. Based on the 20 target proteins selected, AKT1, PIK3CA, PIK3R1, JAK2, MAPK3, MTOR, CDK1, MAPK14, EGFR, and HIF1A are the proteins involved in more than 200 enrichment analyses, with a cutoff of three proteins for each enrichment.

3.3. Molecular Docking Results

Previous studies succeeded in synthesizing derivatives of oscillatoxins (OTXs), including OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F [1]. The structure of the synthesized compounds can be seen in Figure 5. The four synthesized compounds were estimated to have different activities. The activity of these synthesized compounds was analyzed *in silico*, namely through molecular docking analysis. Molecular docking analysis can be used to determine the effectiveness of a drug in the therapy of a disease [18]. The four synthesized products were tested on several signaling pathways, including CDK1, PIK3CA, and FKCBP12/MTOR. PDB ID was used for inhibition testing on the three signaling pathways, respectively, using 6GU2, 4JPS, and 1C9H.

The result of the molecular docking analysis of the four synthesized compounds can be seen in Table 2. The interaction of four synthesized OTX with CDK1 (PDB ID: 6GU2) has a lower potential to occur than the control compound Alvocidib/Flavopyridol (CID: 6602328), with OTX-E interactions requiring the highest binding energy. The binding site of Alvocidib (CID: 6602328) is known to interact with the catalytic domain of PIK3CA, which is spread from the residue Ile10 to Asp146 (Figure 7) [19]. Based on the results of the molecular docking analysis, Alvocidib (CID: 6602328) formed hydrogen bonds in the Glu81 and Leu83 residues and 13 hydrophobic bonds in the surrounding residues. Meanwhile, OTX-D

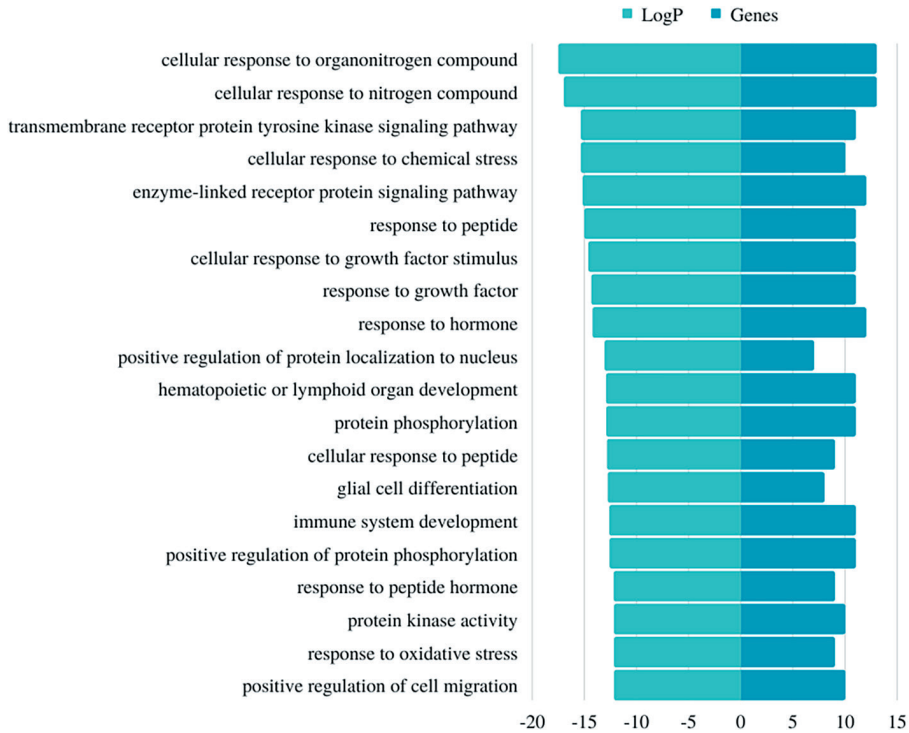


Figure 3. **Gene Ontology chart of 20 enrichments with the lowest LogP and the number of proteins from each GO**

Рисунок 3. **Диаграмма генной онтологии (GO) 20 обогащений с наименьшим LogP и количеством белков от каждой GO**

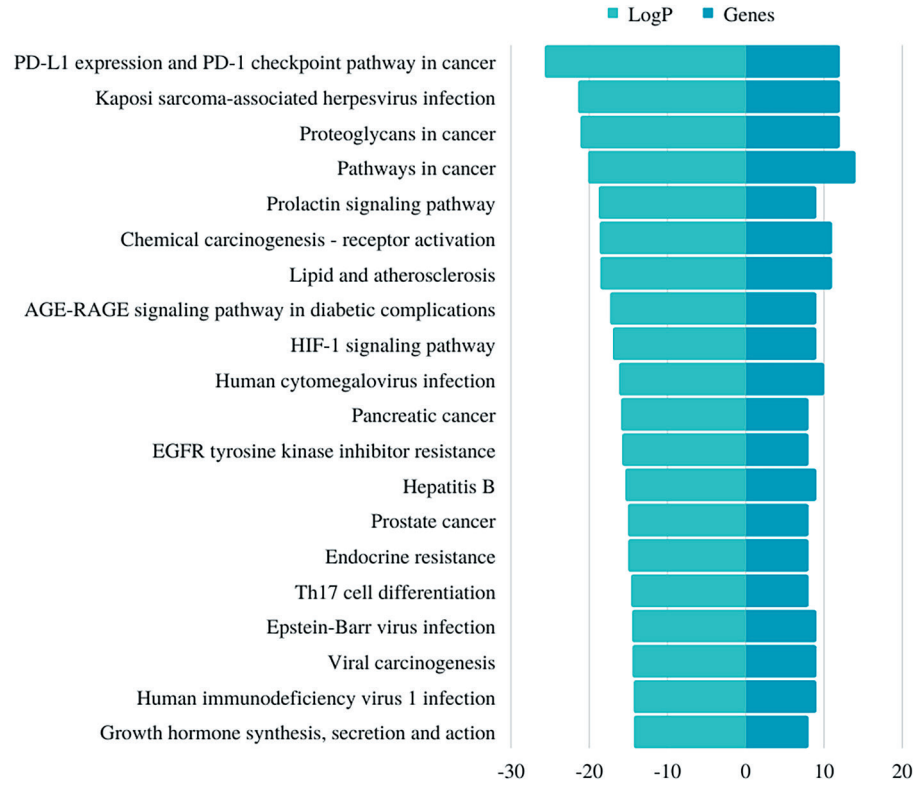


Figure 4. **KEGG Pathway chart of 20 enrichments with the lowest LogP and the number of proteins from each pathway**

Рисунок 4. **Диаграмма пути KEGG 20 обогащений с наименьшим LogP и количеством белков от каждого пути**

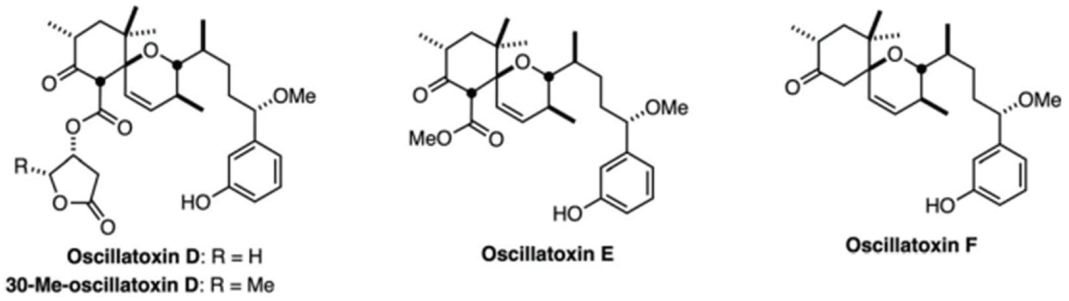


Figure 5. **The results of the synthesis of OTX compounds from Araki et al. [1]**

Рисунок 5. **Результаты синтеза соединений OTX из работы Araki et al. [1]**

had the lowest binding energy score compared to the other synthesized compounds, forming hydrogen bonds in Ile10, Lys33, and Leu83 residues, as well as 10 hydrophobic bonds.

Table 2. **The results of binding energy (Ei) of the molecular docking analysis for four synthesized compounds (kcal/mol)**

Таблица 2. **Результаты энергии связывания (Ei) в анализе методом молекулярного докинга для четырех синтезированных соединений (ккал/моль)**

Signaling pathway	Binding energy (Ei) (kcal/mol)				
	Control	OTX-D	OTX-E	OTX-F	30-methyl-OTX-D
CDK1	−9.6	−9.3	−8.3	−9.2	−9.2
PIK3CA	−10.4	−7.9	−8.3	−8.4	−8.5
FKCBP12/ MTOR	−6.6	−7.5	−6.6	−7.5	−7.7

Table 3. **The number of hydrogen bonds and amino acid residues of the three synthesized compounds**

Таблица 3. **Количество водородных связей и аминокислотных остатков трёх синтезированных соединений**

Synthesized compounds	Number of hydrogen bonds	Amino acid residues
OTX-D	4	ARG42 (2), ILE56, TYR82
OTX-F	2	TYR26, ALA81
30-methyl-OTX-D	2	LYS44, ILE56

In addition, it is known that the number of hydrogen bonds is not always the reason for the low binding energy score in an interaction. The binding energy of molecular docking results is determined by various aspects of scoring and simplification by the software algorithm, such as the presence and type of hydrogen, electrostatic interactions, and van der Waals bonds, which include the presence of water molecules [20]. Thus, compounds with a low score difference are considered to have a similar probability of performing similar activities in the body due to the complexity of the human body systems. To conclude, OTX-D, OTX-F, and 30-methyl-OTX-D have the potential to become PIK3CA inhibitors, as well as Alvocidib.

The interaction of four synthesized OTXs with PIK3CA (PDB ID: 4JPS) has a lower potential to occur than the control compound Alpelisib (CID: 56649450), with OTX-D interactions requiring the highest binding energy. Alpelisib (CID: 56649450) binds to the ATP pocket in the kinase domain, with massive contacts with the P-loop and hinge region [21]. Alpelisib showed a good binding bond through interaction with the hydrogen bond network including three molecules of water and Tyr836, Asp810, Asp933 and Lys802 side chains. Moreover, Lys802 made a hydrogen bond interaction with one fluorine atom of the trifluoromethyl of Alpelisib. Amide group and residue of Gln859 and Val851 performed a pair of donor-acceptor hydrogen bonds (Figure 8) [22]. Based on the results of molecular docking analysis, Alpelisib (CID: 56649450) formed hydrogen bonds in the Gln859 and Ser854 residues and 11 hydrophobic bonds in the surrounding residues. Meanwhile, 30-methyl-OTX-D had the lowest binding energy score compared to the other synthesized compounds, forming hydrogen bonds in Lys802, Asp805, Val851, and Asp933 residues,

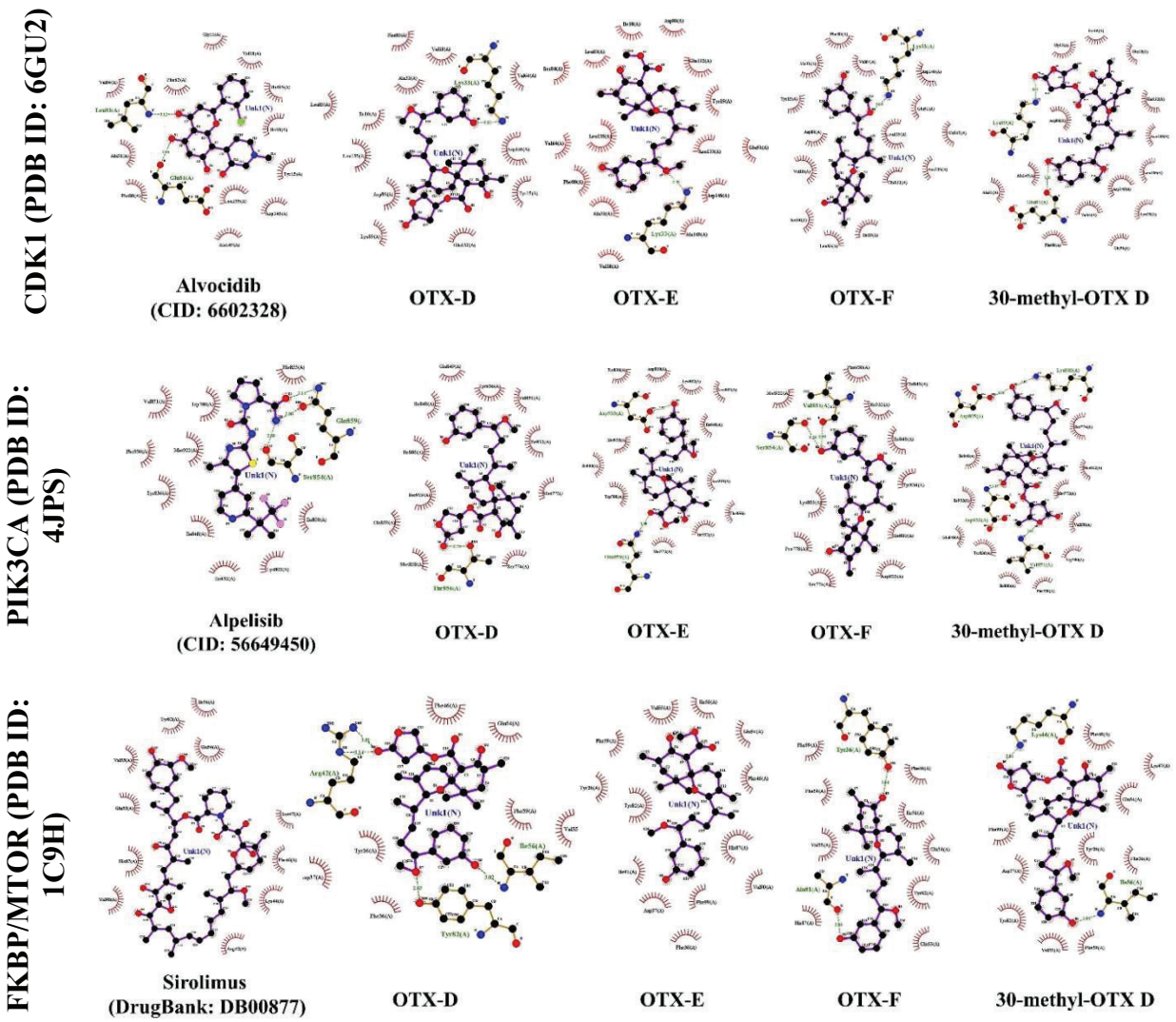


Figure 6. **2D Interaction between four synthesized oscillatoxins compounds with CDK1, PIK3CA, and FKBP/MTOR in comparison with Alvocidib, Alpelisib, and Sirolimus. 2D Visualization conducted with LigPlot+ and the difference of bonds formed belongs to software algorithm**

Рисунок 6. **2D взаимодействия между четырьмя синтезированными соединениями осциллатоксина с CDK1, PIK3CA и FKBP/MTOR по сравнению с Alvocidib, Alpelisib и Sirolimus. 2D визуализация, проведенная с LigPlot+, и различие образованных связей соответствует алгоритму компьютерной программы**

as well as 11 hydrophobic bonds. Based on the binding energy score, it can be said that the potential of the synthesized compound as a PIK3CA inhibitor is relatively weak, so further testing and research are needed.

Furthermore, from the results of the analysis, it can be concluded that the four synthesized compounds had the potential to inhibit the FKCBP12/MTOR signaling pathways. This was because the binding energy of the four compounds synthesized on the FKCBP12/MTOR signaling pathways was better than the binding energy of the control compounds on the FKCBP12/MTOR signaling pathways when binding to the binding site. Moreover, FKCBP12/MTOR has binding sites at Asp37, Gln53, Glu54, Ile56, and Tyr82 when interacting with Sirolimus experimentally, which exerts an inhibitory effect on the MTOR signaling pathway [23]. MTOR signaling pathways can influence gene transcription and protein synthesis to regulate cell growth and proliferation, influence the differentiation of immune cells to participate in immune regulation, and play an important role in tumor metabolism [24]. The type of interaction that occurred between the four synthesized compounds and the FKCBP12/MTOR signaling pathways can be seen in Figure 6. Based on the type of the anticancer inhibition mechanism through the FKCBP12/MTOR signaling pathways, the OTX-E compound had a lower potency than the other three compounds. This was indicated by the value of the binding energy, which was not good, and the absence of hydrogen bonds. The presence of hydrogen bonds affected the binding energy that occurred between the ligand and protein, where the more hydrogen bonds, the better the binding energy [25]. Types of amino acid residues from proteins that formed hydrogen bonds with the three synthesized compounds can be seen in Table 3.

The best interaction potential occurred in 30-methyl-OTX D, which had the lowest binding energy score compared to the other four OTX compounds, including the control compound Sirolimus/Rapamycin (DrugBank: DB00877). A hydrogen bond was also formed in the residues Lys44 and Ile56 during this interaction. Although the interacting residues involved in the hydrogen bonds of 30-methyl-OTX D were different from Sirolimus, hydrophobic bounds were strongly formed in Tyr26, Phe46, Val55, Ile56, Phe59, and Phe99 residues.

4. Discussion

OTXs provide several promising pharmacological activities including the anticancer activity. In 2021, OTX derivatives were obtained through the total synthesis route, which resulted in four compounds including OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F [1]. Generally, the OTX family can activate protein kinase C (PKC), which plays important roles in inflammation action, tumor promotion, and cell growth inhibition [26]. PKCδ is not the appropriate target molecule for the OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F. Such conditions imply that as part of their unique activities, OTXs target molecules that have not yet been recognized. Therefore, further investigation of OTX target protein was conducted in this study.

In drug discovery, target identification is the primary step to determine drug mechanisms of action and side effects, thus accelerating the discovery-to-market process. Understanding of drug targets can help improve drug efficacy and manage the occurrence of undesired effects, which often cause drug side effects [27]. In this study, possible protein targets were determined by the network pharmacological analysis method, followed by the molecular docking study to illustrate the interaction between the com-

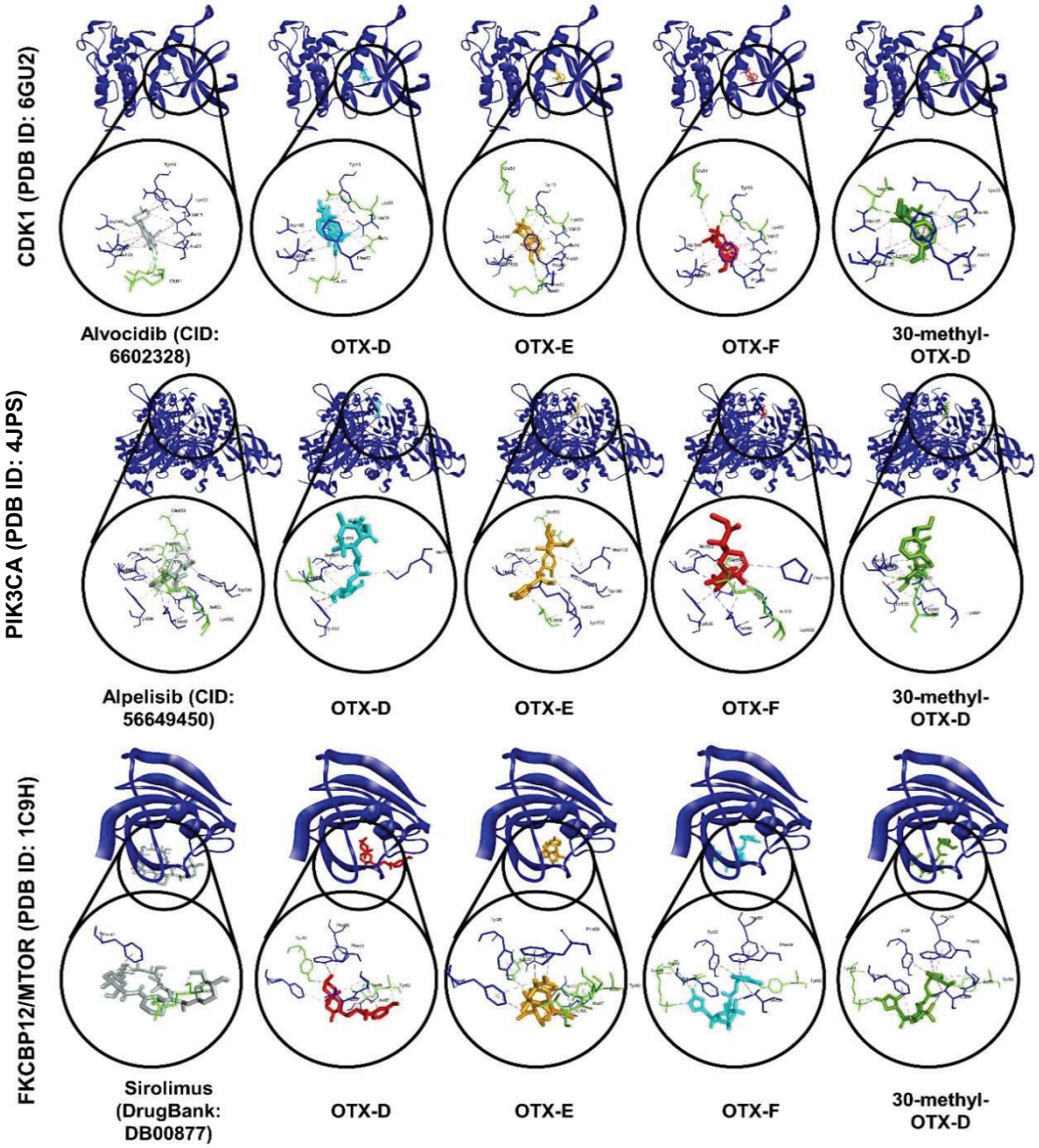


Figure 7. **Binding sites of CDK1, PIK3CA, and FKCBP12/MTOR located at the control ligand interaction sites based on laboratory results**

Рисунок 7. **Участки связывания CDK1, PIK3CA и FKCBP12/MTOR, расположенные на участках взаимодействия контрольного лиганда на основании лабораторных результатов**

pounds and protein targets. We predicted that there were 20 target proteins of OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F, and then we determined that the key targets of the four compounds were PIK3CA, CDK1, and MTOR.

To reveal the anticancer potential of oscillatoxins, gene ontology and KEGG pathway enrichment analyses were performed. According to Figure 4, the result indicates that there are significantly enriched cancer-related terms such as cellular response to organonitrogen compound, cellular response to nitrogen compound, transmembrane receptor protein tyrosine kinase signaling pathway, cellular response to growth factor stimulus, response to growth factor, positive regulation of cell migration, response to hormone, and response to oxidative stress. Nitrogen is part of energy transfer compounds such as ATP (adenosine triphosphate), which allows cells to conserve and use the energy released by metabolism. Disrupting cellular responses to nitrogen disrupts cellular metabolism and cell formation [28]. Many dysregulations in cell mechanisms are related to cancer growth. Aberrantly activated receptor tyrosine kinases (RTKs) lead to human cancers [29]. Chromosomal instability and genetic mutations drive cancer cell migration and invasion [30]. Mutation in the hormone receptor influences a breast tumor's response to chemotherapy [31]. Many studies established the role of oxidative stress in cancer initiation and growth [32]. Tyrosine kinases belong to a large class of enzymes called protein kinases, which also bind phosphates to other amino acids such as serine and threonine. Phosphorylation of proteins by kinases is an important mechanism for the regulation of intracellular signaling (signal transduction) and cellular activities such as cell division. Protein kinases can mutate and lead to uncontrolled cell growth, a necessary step in cancer development [33]. Understanding of these mechanisms has important implications for discovery of anti-cancer drugs.

Further KEGG enrichment analysis of the target proteins showed that compounds OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F are mainly involved in PD-L1 expression and PD-1 checkpoint pathway in cancer, proteoglycans in cancer, and pathways in cancer. Molecular docking also illustrated that OTX derivatives were well combined with the target proteins. PIK3CA, CDK1, and MTOR are important targets associated with the cancer diseases. By having the antiproliferative activity in DMS114 lung cancer cell lines [1], OTX-F may target PIK3CA, CDK1, and MTOR. Other three compounds generally also target PIK3CA, CDK1, and MTOR. Even though they lack the antiproliferative activity in DMS114 cells, the targets may be expressed in other types of cancers. Compounds OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F also target NFKB1, JAK2, PTPN11, MAPK14, MAPK3, AKT1, EGFR, HIF1A, STAT3, ESR1, PIK3R1, LYN, HDAC1, FYN, HSP90AB1, CASP3, and APP.

Various potential targets of OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F in the cancer cells demonstrated that they offered the promising pharmacological activities, which might be the fundamental theory in the further study.

5. Conclusion

This study revealed 20 potential protein targets and three key target proteins of OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F, which are involved in various signaling pathways, including PD-L1 expression and PD-1 checkpoint pathway in cancer, proteoglycans in cancer, and pathways in cancer. These three main targets are PIK3CA, CDK1, and MTOR. To date, there are several experimental studies on the effect of oscillatoxin derivatives; however, the exact mechanism of action and the target proteins remain unclear. Therefore, this study determined the protein targets and provides the prediction of mechanism of compounds OTX-D, 30-methyl-OTX-D, OTX-E, and OTX-F through network pharmacological analysis and molecular docking study. To support the result of this study, an experimental study is required to validate the target of oscillatoxins.

REFERENCES

1. Araki, Y., Hanaki, Y., Kita, M., Hayakawa, K., Irie, K., Nokura, Y. et al. (2021). Total synthesis and biological evaluation of oscillatoxins D, E, and F. Bioscience, *Biotechnology and Biochemistry*, 85(6), 1371–1382. https://doi.org/10.1093/bbb/zbab042
2. Leveridge, M., Chung, C. -W., Gross, J. W., Phelps, C. B., Green, D. (2018). Integration of lead discovery tactics and the evolution of the lead discovery toolbox. *SLAS Discovery*, 23(9), 881–897. https://doi.org/10.1177/2472555218778503
3. Rasul, A., Riaz, A., Sarfraz, I., Khan, S. G., Hussain, G., Zara, R. et al. (2022). Chapter in a book: Target identification approaches in drug discovery. Springer, Cham, 2022. https://doi.org/10.1007/978–3–030–95895–4_3
4. Open chemistry database at the National Institutes of Health (NIH). Retrieved from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/ Accessed January 15, 2023
5. Swiss Institute of Bioinformatics. Retrieved from http://www.swissadme.ch/index.php Accessed January 15, 2023
6. Royal Society of Chemistry. Retrieved from http://www.chemspider.com/Accessed January 15, 2023
7. The Swiss Target Prediction database. Retrieved from http://swisstargetprediction.ch/ Accessed January 25, 2023
8. The Anatomical Therapeutic Chemical (ATC) classification system. Retrieved from https://prediction.charite.de/ Accessed January 25, 2023
9. Protein-Protein Interaction Networks Functional Enrichment Analysis. Retrieved from http://string-db.org Accessed January 25, 2023
10. Network Data Integration, Analysis, and Visualization in a Box. Retrieved from https://cytoscape.org/ Accessed January 25, 2023
11. A Gene Annotation and Analysis Resource. Retrieved from https://metascape.org Accessed January 25, 2023
12. Database of medicinal substances with chemical, pharmacological and pharmaceutical information. Retrieved from https://go.drugbank.com/drugs Accessed January 25, 2023
13. Zhang, M., Jang, H., Nussinov, R. (2020). Structural features that distinguish inactive and active PI3K lipid kinases. *Journal of Molecular Biology,* 432(22), 5849–5859. https://doi.org/10.1016/j.jmb.2020.09.002
14. O'Boyle, N. M., Banck, M., James, C. A., Morley, C., Vandermeersch, T., Hutchison, G. R. (2011). Open Babel: An open chemical toolbox. *Journal of Cheminformatics*, 3, Article 33. https://doi.org/10.1186/1758–2946–3–33
15. Kumar, A., Zhang, K. Y. J. (2013). Investigation on the effect of key water molecules on docking performance in CSARdock exercise. *Journal of Chemical Information and Modeling,* 53(8), 1880–1892. https://doi.org/10.1021/ci400052w
16. Huang, N., Shoichet, B. K. (2008). Exploiting ordered waters in molecular docking. *Journal of Medicinal Chemistry*, 51(16), 4862–4865. https://doi.org/10.1021/jm8006239
17. Laskowski, R. A., Swindells, M. B. (2011). LigPlot+: Multiple ligand-protein interaction diagrams for drug discovery. *Journal of Chemical Information and Modeling,* 51(10), 2778–2786. https://doi.org/10.1021/ci200227u
18. Budama-Kilinc, Y., Gok, B., Kecel-Gunduz, S., Altuntas, E. (2022). Development of nanoformulation for hyperpigmentation disorders: Experimental evaluations, in vitro efficacy and in silico molecular docking studies. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(12), Article 104362. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104362
19. Wood, D. J., Korolchuk, S., Tatum, N. J., Wang, L. -Z., Endicott, J. A., Noble, M. E. M. et al. (2019). Differences in the conformational energy landscape of CDK1 and CDK2 suggest a mechanism for achieving selective CDK inhibition. *Cell Chemical Biology*, 26(1), 121–130. https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2018.10.015
20. Pantsar, T., Poso, A. (2018). Binding affinity via docking: Fact and fiction. *Molecules*, 23(8), Article 1899. https://doi.org/10.3390/molecules23081899
21. Zhang, M., Jang, H., Nussinov, R. (2020). PI3K inhibitors: Review and new strategies. *Chemical Science*, 11(23), 5855–5865. https://doi.org/10.1039/d0sc01676d
22. El-Khouly, O. A., Henen, M. A., El-Sayed, M. A.-A., El-Messery, S. M. (2022). Design, synthesis and computational study of new benzofuran hybrids as dual PI3K/VEGFR2 inhibitors targeting cancer. *Scientific Reports,* 12(1), Article 17104. https://doi.org/10.1038/s41598–022–21277–2
23. Deivanayagam, C. C. S., Carson, M., Thotakura, A., Narayana, S. V., Chodavarapu, R. S. (2000). Structure of FKBP12.6 in complex with rapamycin. *Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography,* 56(Part 3), 266–271. https://doi.org/10.1107/s0907444999016571
24. Zou, Z., Tao, T., Li, H., Zhu, X. (2020). mTOR signaling pathway and mTOR inhibitors in cancer: Progress and challenges. *Cell and Bioscience*, 10(1), Article 31. https://doi.org/10.1186/s13578–020–00396–1
25. Yunitasari, N., Raharjo, T. J., Swasono, R. T., Pranowo, H. D. (2022). Identification α-amylase inhibitors of *Vernonia amygdalina* leaves extract using metabolite profiling combined with molecular docking. *Indonesian Journal of Chemistry*, 22(2), 526–538. https://doi.org/10.22146/ijc.71499
26. Arcoleo, J. P., Weinstein, I. B. (1985). Activation of protein kinase C by tumor promoting phorbol esters, teleocidin and aplysiatoxin in the absence of added calcium. *Cardnogenesis*, 6(2), 213–217. https://doi.org/10.1093/carcin/6.2.213
27. Lin, A., Giuliano, C. J., Palladino, A., John, K. M., Abramowicz, C., Yuan, M. L. et al. (2019). Off-target toxicity is a common mechanism of action of cancer drugs undergoing clinical trials. *Science Translational Medicine*, 11(509), Article eaaw8412. https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aaw8412
28. Yap, B. H. J., Crawford, S. A., Dagastine, R. R., Scales, P. J., Martin, G. J. O. (2016). Nitrogen deprivation of microalgae: Effect on cell size, cell wall thickness, cell strength, and resistance to mechanical disruption. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 43(12), 1671–1680. https://doi.org/10.1007/s10295–016–1848–1
29. Du, Z., Lovly, C. M. (2018). Mechanisms of receptor tyrosine kinase activation in cancer. *Molecular Cancer*, 17(1), Article 58. https://doi.org/10.1186/s12943–018–0782–4
30. Novikov, N. M., Zolotaryova, S. Y., Gautreau, A. M., Denisov, E. V. (2020). Mutational drivers of cancer cell migration and invasion. *British Journal of Cancer*, 124(1), 102–114. https://doi.org/10.1038/s41416–020–01149–0
31. Katayama, A., Miligy, I. M., Shiino, S., Toss, M. S., Eldib, K., Kurozumi, S. et al. (2021). Predictors of pathological complete response to neoadjuvant treatment and changes to post-neoadjuvant HER2 status in HER2-positive invasive breast cancer. *Modern Pathology*, 34(7), 1271–1281. https://doi.org/10.1038/s41379–021–00738–5
32. Klaunig, J. E. (2018). Oxidative stress and cancer. *Current Pharmaceutical Design*, 24(40), 4771–4778. https://doi.org/10.2174/1381612825666190215121712
33. Li, J., Zhong, L., Wang, F., Zhu, H. (2017). Dissecting the role of AMP-activated protein kinase in human diseases. *Acta Pharmaceutica Sinica B,* 7(3), 249–259. https://doi.org/10.1016/j.apsb.2016.12.003

AUTHOR INFORMATION	СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Affiliation	**Принадлежность к организации**
Dewi Luthfiana, Bachelor of Science, Researcher, Bioinformatics Research Center, Indonesian Institute of Bioinformatics (INBIO) Pakisaji, Kab.Malang, Jawa Timur, Indonesia, 65162 Tel.: +628–533–645–32–24 E-mail: dewiluthfiana7@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0001–6109–5283	**Лютфиана Дэви** — бакалавр, научный сотрудник, Исследовательский центр биоинформатики, Индонезийский институт биоинформатики 65162, Индонезия, Восточная Ява, регентство Маланг, Пакисаджи Тел.: +628–533–645–32–24 E-mail: dewiluthfiana7@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0001–6109–5283
Maratu Soleha, Master of Biotechnology, Researcher, National Research and Innovation Agency Gedung B. J. Habibie, Jl. M. H. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat, Indonesia, 10340 Tel.: +628–953–452–30–62 E-mail: maratu1508@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0009–0007–3119–4951	**Солеха Марату** — магистр биотехнологии, научный сотрудник, Национальное агентство исследований и инноваций 10340, Индонезия, Центральная Джакарта, ул. М. Х. Тамрин, 8, Здание Б. Дж. Хабиби Тел.: +628–953–452–30–62 E-mail: maratu1508@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0009–0007–3119–4951
Andri Prasetiyo, Doctor in Pharmaceutical Science, Assistant Professor, Department of Pharmaceutical Science, Faculty of Pharmacy, Pancasila University Jalan Raya Lenteng Agung No.56–80, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta 12640, Indonesia Tel.: +628–128–654–61–48 E-mail: andriprasetiyo@univpancasila.ac.id ORCID: https://orcid.org/0000–0002–9936–6058	**Прасетийо Андри** — доктор фармацевтических наук, старший преподаватель, кафедра фармацевтических наук, фармацевтический факультета, Университет Панкасила 12640, Индонезия, Джакарта, ул. Джалан Райя Лентенг Агунг, 56 Тел.: +628–128–654–61–48 E-mail: andriprasetiyo@univpancasila.ac.id ORCID: https://orcid.org/0000–0002–9936–6058

Wisnu A. Kusuma, PhD in Computer Science, Associate Professor, Department of Computer Science, Faculty Mathematics and Natural Sciences, IPB University
Jln. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor, Indonesia, 16680
Tropical Biopharmaca Research Center, IPB University
Jl. Taman Kencana No. 3, Bogor, Indonesia, 16128
Tel.: +622–518–37–35–61
E-mail: ananta@apps.ipb.ac.id
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–3682–244X

Кусума Висну Ананта — PhD компьютерных наук, адъюнкт-профессор, кафедра компьютерных наук, факультет математики и естественных наук, Университет ИПБ
16680, Индонезия, Богор, кампус IBP Дагмара, улица Меранти
Исследовательский центр тропической биофармацевтики, Университет ИПБ
16128, Индонезия, Богор, ул. Таман Кенсана, 3
Тел.: +622–518–37–35–61
E-mail: ananta@apps.ipb.ac.id
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–3682–244X

Rizka Fatriani, Master in Biology, Research Assistant, Tropical Biopharmaca Research Center, IPB University
Jl. Taman Kencana No. 3, Bogor, Indonesia, 16128
Tel.: +622–518–37–35–61
E-mail: fatrianirizka@gmail.com

Фатриани Ризка — магистр биологии, научный сотрудник, Исследовательский центр тропической биофармацевтики, Университет ИПБ
16128, Индонезия, Богор, ул. Таман Кенсана, 3
Тел.: +622–518–37–35–61
E-mail: fatrianirizka@gmail.com

Lina Nurfadhila, Master in Pharmaceutical Science, Lecturer, Faculty of Health Sciences, University of Singaperbangsa Karawang
Jl. HS. Ronggo Waluyo, Karawang, West Java, Indonesia, 41363
Tel.: +628–572–343–23–10
E-mail: lina.nurfadhila@fikes.unsika.ac.id
ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8629–6866

Нурфадхила Лина — магистр фармацевтических наук, преподаватель, факультет медицинских наук, Сингапурский университет Банга Караванг
41363, Индонезия, Западная Ява, Касаванг, улица Ронгго Валуйя
Тел.: +628–572–343–23–10
E-mail: lina.nurfadhila@fikes.unsika.ac.id
ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8629–6866

Norainny Yunitasari, Doctor in Chemistry, Lecturer, Faculty of Health, University of Muhammadiyah Gresik
Jl. Proklamasi 54, Gresik, East Java, Indonesia, 61121
Tel.: +628–123–442–26–26
E-mail: yunitasari060688@gmail.com
ORCID: https://orchid.org/0000–0002–1861–0953

Юнитасари Норайни — доктор химических наук, преподаватель, факультет здравоохранения, Университет Мухаммадии Гресик
61121, Индонезия, Восточная Ява, Гресик, ул. Прокламации, 54
Тел.: +628–123–442–26–26
E-mail: yunitasari060688@gmail.com
ORCID: https://orchid.org/0000–0002–1861–0953

Ahmad H. Ahkam, Master student in Pharmacology, Faculty of Pharmacy, Padjadjaran University
Jl. Ir. Soekarno km.21, Kab. Sumedang, West Java, Indonesia, 40132
Tel.: +628–521–988–34–77
E-mail: ahmad23011@mail.unpad.ac.id

Ахкам Ахмад Х. — магистрант по фармакологии, фармацевтический факультет, Паджаджаранский университет
40132, Индонезия, Западная Ява, регентство Сумеданг, ул. Сухарно, 21 км
Тел.: +628–521–988–34–77
E-mail: ahmad23011@mail.unpad.ac.id

Teresa L. Wargasetia, Doctor in Medical Science, Associate Professor, Faculty of Medicine, Maranatha Christian University
Jl. Prof. drg. Surya Sumantri, M.P.H. No. 65
Bandung, West Java, Indonesia, 40164
Tel.: +622–220–121–86
E-mail: Teresa.lw@med.maranatha.edu
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–3433–3300

Варгасетия Тереза Лилиана — доктор медицинских наук, адъюнкт-профессор, медицинский факультет, Христианский университет Маранаата
40164, Индонезия, Западная Ява, Бандунг, ул. Профессора Сурия Сумантри, 65
Тел.: +622–220–121–86
E-mail: Teresa.lw@med.maranatha.edu
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–3433–3300

Rizal Irfandi, Master of Chemistry, Assistant Professor, Department of Biology Education, Faculty of Teacher Training and Education, Universitas Puangrimaggalatung
Jalan Puangrimaggalatung No 27, Sengkang, Indonesia, 90915
Tel.: +628–239–364–43–53
E-mail: rizalirfandi043@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–4845–3397

Ирфанди Ризал, Магистр химии, старший преподаватель, кафедра биологического образования факультета подготовки учителей и просвещения, Университет Пуангримаггалатунг
90915, Индонезия, Сенгканг, ул. Джалан Пуангримаггалатунг, 27
Тел.: +628–239–364–43–53
E-mail: rizalirfandi043@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–4845–3397

Arif N. M. Ansori, PhD in Veterinary Science, Researcher, Postgraduate School, Universitas Airlangga
Jl. Mulyorejo, Kec. Mulyorejo, Surabaya, East Java, 60115, Indonesia
Tel.: +628–214–464–78–32
E-mail: ansori.anm@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1279–3904

Анзори Ариф Нур Мухаммад — PhD, Доктор ветеринарных наук, научный сотрудник, департамент аспирантуры, Университет Айрланга
60115, Индонезия, Восточная Ява, Сурабая, округ Мулиорехо, ул. Мулиорехо
Тел.: +628–214–464–78–32
E-mail: ansori.anm@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1279–3904

Viol D. Kharisma, Master of Science, PhD Student, Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Universitas Airlangga
Jl. Mulyorejo, Kec. Mulyorejo, Surabaya, East Java, 60115, Indonesia
Tel.: +628–121–78–70–02
E-mail: viol.dhea.kharisma-2022@fst.unair.ac.id
ORCID: https://orcid.org/0000–0001–9060–0429

Харишма Виол Дхеа — магистр наук, аспирант, кафедра биологии, факультет науки и техники, Университет Айрланга
60115, Индонезия, Восточная Ява, Сурабая, округ Мулиорехо, ул. Мулиорехо
Тел.: +628–121–78–70–02
E-mail: viol.dhea.kharisma-2022@fst.unair.ac.id
ORCID: https://orcid.org/0000–0001–9060–0429

Sin W. Naw, Master of Science, Lecturer, Department of Chemistry, Myitkyina University
CC95+FWM, Myitkyina, Myanmar
Tel.: +959–440–00–71–12
E-mail: maripsinwarnaw94@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–5985–361X

Нау Син Во — магистр наук, преподаватель, химический факультет, Университет Мьиткьина
Мьянма, Мьиткьина, CC95+FWM,
Тел.: +959–440–00–71–12
E-mail: maripsinwarnaw94@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–5985–361X

Emdad Ullah, Master of Science, PhD Student, Department of Chemistry, Mississippi State University
310 President Cir, Mississippi, Mississippi State, United States MS39762
Tel.: +1–662–617–56–70
E-mail: emdadsami@yahoo.com
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1683–2501

Улла Эмдат — магистр наук, аспирант, химический факультет, Университет штата Миссисипи
MS39762, США, штат Миссисипи, Миссисипи, Президентский центр, 310
Тел.: +1–662–617–56–70
E-mail: emdadsami@yahoo.com
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1683–2501

Vikash Jakhmola, Professor, Professor, Uttaranchal Institute of Pharmaceutical Sciences, Uttaranchal University
Chakrata Rd, Prem Nagar, Dehradun, Uttarakhand, 248007, India
Tel.: +918–126–00–96–20
E-mail: jakhmola.1979@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–8108–006X

Яхмола Викаш — профессор, Уттаранчальский институт фармацевтических наук, Уттаранчальский университет
248007, Индия, Уттаракханд, Дехрадун, ул. Чакрата
Тел.: +918–126–00–96–20
E-mail: jakhmola.1979@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000–0002–8108–006X

Rahadian Zainul, Professor in Chemistry, Professor, Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Bar., Kec. Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia, 25171
Tel.: +628–126–138–53–85
E-mail: rahadianzmsiphd@fmipa.unp.ac.id
ORCID: https://orcid.org/ 0000–0002–3740–3597
* corresponding author

Зайнул Рахадин — профессор химии, профессор, кафедра химии, факультет математики и естественных наук, Университет Негери Паданг 21171, Индонезия, Западная Суматра, округ Паданг Утара, Патанг, ул. Профессора, доктора Хамка
Тел.: +628–126–138–53–85
E-mail: rahadianzmsiphd@fmipa.unp.ac.id
ORCID: https://orcid.org/ 0000–0002–3740–3597
* автор для контактов

Contribution	Критерии авторства
The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.	Автор имеет единоличное отношение к написанию рукописи и несет ответственность за плагиат
Conflict of interest	**Конфликт интересов**
The author declare no conflict of interest.	Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

SUPPLEMENTARY MATERIAL

Supplementary 1. The list of gene and protein names associated with 30-methyl oscillatoxin D, oscillatoxin D, oscillatoxin E, and oscillatoxin F compounds

No	Gene Name	Protein Name
1	EGFR	Epidermal growth factor receptor
2	STAT3	Signal transducer and activator of transcription 3
3	AKT1	RAC-alpha serine/threonine-protein kinase
4	ESR1	Estrogen receptor
5	MAPK3	Mitogen-activated protein kinase 3
6	PIK3R1	Phosphoinositide-3-kinase regulatory subunit alpha/beta/delta
7	APP	Amyloid-beta A4 protein
8	HSP90AB1	Heat shock protein 90 alpha family class b member 1
9	PIK3CA	Phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate 3-kinase catalytic subunit alpha isoform
10	JAK2	Tyrosine-protein kinase JAK2
11	CASP3	Caspase-3
12	NFKB1	Nuclear factor NF-kappa-B p105 subunit
13	FYN	Tyrosine-protein kinase Fyn
14	MTOR	Serine/threonine-protein kinase mTOR
15	CDK1	Cyclin-dependent kinase 1
16	HIF1A	Hypoxia-inducible factor 1-alpha
17	LYN	Lyn proto-oncogene, src family tyrosine kinase
18	HDAC1	Histone deacetylase 1/2
19	MAPK14	Mitogen-activated protein kinase 14
20	PTPN11	Tyrosine-protein phosphatase non-receptor type 11
21	MDM2	E3 ubiquitin-protein ligase Mdm2
22	GSK3B	Glycogen synthase kinase-3 beta
23	TLR4	Toll-like receptor 4
24	ERBB2	Receptor tyrosine-protein kinase erbB-2
25	ITGB1	Integrin beta-1
26	JAK1	Tyrosine-protein kinase JAK1
27	PIK3CD	Phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate 3-kinase catalytic subunit delta isoform
28	CDK2	Cyclin-dependent kinase 2
29	PRKCA	Protein kinase C alpha type
30	PIK3CB	Phosphatidylinositol-4,5-bisphosphate 3-kinase catalytic subunit alpha/beta/delta
31	RXRA	Retinoic acid receptor RXR-alpha
32	EPHB2	Ephrin type-B receptor 2
33	ABL1	Tyrosine-protein kinase ABL1
34	YES1	Yes proto-oncogene 1, src family tyrosine kinase
35	CDC25C	M-phase inducer phosphatase 3
36	CCNA2	Cyclin-A2
37	PRKCD	Protein kinase C delta type
38	GRIN1	Glutamate receptor ionotropic, NMDA 1
39	PDPK1	3-phosphoinositide-dependent protein kinase 1
40	IGF1R	Insulin-like growth factor 1 receptor
41	CCNB1	G2/mitotic-specific cyclin-B1
42	MMP9	Matrix metalloproteinase-9
43	HCK	Tyrosine-protein kinase HCK
44	SYK	Spleen associated tyrosine kinase
45	EZH2	Histone-lysine N-methyltransferase EZH2
46	HDAC2	Histone deacetylase 1/2
47	PDGFRB	Platelet-derived growth factor receptor beta
48	JAK3	Tyrosine-protein kinase JAK3
49	PTK2B	Protein-tyrosine kinase 2-beta
50	FGR	Fgr proto-oncogene, src family tyrosine kinase
51	CAMK2A	Calcium/calmodulin-dependent protein kinase type II subunit alpha
52	PARP1	Poly [ADP-ribose] polymerase 1
53	PIK3CG	Phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate 3-kinase catalytic subunit gamma isoform
54	IKBKB	Inhibitor of nuclear factor kappa-B kinase subunit beta
55	CASP8	Caspase-8
56	CCNE1	G1/S-specific cyclin-E1
57	CAMK2D	Calcium/calmodulin-dependent protein kinase type II subunit delta
58	GRM5	Metabotropic glutamate receptor 5
59	ESR2	Estrogen receptor beta
60	PRKDC	DNA-dependent protein kinase catalytic subunit
61	PGR	Progesterone receptor
62	ITGB3	Integrin beta-3
63	FKBP5	Peptidyl-prolyl cis-trans isomerase FKBP5
64	PTPN1	Tyrosine-protein phosphatase non-receptor type 1
65	MAP2K2	Dual specificity mitogen-activated protein kinase kinase 2
66	CHEK1	Serine/threonine-protein kinase Chk1
67	LRRK2	Leucine-rich repeat serine/threonine-protein kinase 2
68	BCL2	Apoptosis regulator Bcl-2
69	CDK9	Cyclin-dependent kinase 9
70	HDAC3	Histone deacetylase 3
71	CCNB2	G2/mitotic-specific cyclin-B2
72	MMP2	Matrix metalloproteinase-2 (gelatinase a)
73	BLK	Tyrosine-protein kinase Blk
74	CDK5	Cyclin-dependent-like kinase 5
75	AURKA	Aurora kinase A
76	HDAC6	Histone deacetylase 6
77	NTRK1	High affinity nerve growth factor receptor
78	AURKB	Aurora kinase B
79	ZAP70	Tyrosine-protein kinase ZAP-70
80	CACNA1C	Voltage-dependent L-type calcium channel subunit alpha-1C
81	PDGFRA	Platelet-derived growth factor receptor alpha
82	ITK	Tyrosine-protein kinase ITK/TSK
83	TOP2A	DNA topoisomerase 2-alpha
84	KIF11	Kinesin-like protein KIF11
85	BRAF	B-raf proto-oncogene serine/threonine-protein kinase
86	PTPN2	Tyrosine-protein phosphatase non-receptor type 2
87	KDM1A	[histone h3]-n6, n6-dimethyl-l-lysine4 fad-dependent demethylase
88	MMP3	Matrix metalloproteinase-3 (stromelysin 1, progelatinase)
89	MAPK10	Mitogen-activated protein kinase 8/9/10 (c-jun n-terminal kinase)
90	ADAM10	Disintegrin and metalloproteinase domain-containing protein 10
91	ADAM17	Disintegrin and metalloproteinase domain-containing protein 17

No	Gene Name	Protein Name
92	HDAC7	Histone deacetylase 7
93	CDK7	Cyclin-dependent kinase 7
94	TRIM24	Transcription intermediary factor 1-alpha
95	PSEN1	Presenilin-1
96	NR1I2	Nuclear receptor subfamily 1 group I member 2
97	IL6ST	Interleukin-6 receptor subunit beta
98	FKBP1A	Peptidyl-prolyl cis-trans isomerase FKBP1A
99	NLRP3	NACHT, LRR and PYD domains-containing protein 3
100	CCNA1	Cyclin-A1
101	NOS2	Nitric-oxide synthase, inducible
102	OPRM1	Mu-type opioid receptor
103	CCNT1	Cyclin-T1
104	CAPN1	Calpain-1 catalytic subunit
105	INSR	Insulin receptor
106	CAMK2G	Calcium/calmodulin-dependent protein kinase type II subunit gamma
107	MMP14	Matrix metalloproteinase-14
108	SLC9A1	Solute carrier family 9 (sodium/hydrogen exchanger), member 1
109	CASP1	Caspase-1
110	HDAC5	Histone deacetylase 4/5
111	NFE2L2	Nuclear factor erythroid 2-related factor 2
112	GRM1	Metabotropic glutamate receptor 1
113	OGT	UDP-N-acetylglucosamine — peptide N-acetylglucosaminyltransferase 110 kDa subunit
114	ROCK1	Rho-associated protein kinase 1
115	CCNH	Cyclin-H
116	CTSD	Cathepsin D
117	MME	Membrane metalloendopeptidase
118	DUT	Deoxyuridine 5'-triphosphate nucleotidohydrolase, mitochondrial
119	CCNB3	G2/mitotic-specific cyclin-B3
120	FPR1	Formyl peptide receptor 1
121	RIPK2	Receptor-interacting serine/threonine-protein kinase 2
122	ATR	Serine/threonine-protein kinase ATR
123	PRKAA1	5'-AMP-activated protein kinase catalytic subunit alpha-1
124	LGALS3	Galectin-3
125	CFTR	Cystic fibrosis transmembrane conductance regulator
126	THRA	Thyroid hormone receptor alpha
127	KEAP1	Kelch-like ECH-associated protein 1
128	RPS6KA1	Ribosomal protein S6 kinase alpha-1
129	WEE1	Wee1-like protein kinase
130	CASP7	Caspase-7
131	CTSB	Cathepsin B
132	HDAC4	Histone deacetylase 4/5
133	BMX	Cytoplasmic tyrosine-protein kinase BMX
134	MARK3	MAP/microtubule affinity-regulating kinase 3
135	PSEN2	Presenilin-2
136	PLK4	Serine/threonine-protein kinase PLK4
137	ROCK2	Rho-associated protein kinase 2
138	MMP1	Matrix metalloproteinase-1 (interstitial collagenase)
139	EIF2AK2	Interferon-induced, double-stranded RNA-activated protein kinase
140	CBX4	E3 SUMO-protein ligase CBX4
141	NCSTN	Nicastrin
142	RPS6KA3	Ribosomal protein S6 kinase alpha-3
143	NR3C2	Mineralocorticoid receptor
144	ADRB1	Beta-1 adrenergic receptor
145	NTRK3	NT-3 growth factor receptor
146	PSENEN	Gamma-secretase subunit PEN-2
147	APH1A	Gamma-secretase subunit APH-1A
148	DRD2	D(2) dopamine receptor
149	PIP5K1A	Phosphatidylinositol 4-phosphate 5-kinase type-1 alpha
150	CSF1R	Macrophage colony-stimulating factor 1 receptor
151	PLK2	Serine/threonine-protein kinase PLK2
152	APEX1	DNA-(apurinic or apyrimidinic site) lyase
153	TBK1	Serine/threonine-protein kinase TBK1
154	PKN1	Serine/threonine-protein kinase N1
155	P2RX7	P2X purinoceptor 7
156	FNTA	Protein farnesyltransferase/geranylgeranyltransferase type-1 subunit alpha
157	EIF2AK3	Eukaryotic translation initiation factor 2-alpha kinase 3
158	APH1B	Aph-1 homolog B, gamma-secretase subunit
159	PDE3B	cGMP-inhibited 3',5'-cyclic phosphodiesterase B
160	PIM1	Serine/threonine-protein kinase pim-1
161	CDK5R1	Cyclin dependent kinase 5 regulatory subunit 1
162	PROC	Vitamin K-dependent protein C
163	MAP3K11	Mitogen-activated protein kinase kinase kinase 11
164	SLC2A1	Solute carrier family 2, facilitated glucose transporter member 1
165	DUSP3	Dual specificity protein phosphatase 3
166	GPBAR1	G-protein coupled bile acid receptor 1
167	MAP3K3	Mitogen-activated protein kinase kinase kinase 3
168	HSD17B10	3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase / 3-hydroxy-2-methylbutyryl-CoA dehydrogenase
169	PIP4K2B	Phosphatidylinositol 5-phosphate 4-kinase type-2 beta
170	PER2	Period circadian protein homolog 2
171	KLF5	Krueppel-like factor 5
172	KCNH2	Potassium voltage-gated channel subfamily H member 2
173	CXCR1	C–X-C chemokine receptor type 1
174	PSMB5	Proteasome subunit beta type-5
175	PSMB9	Proteasome subunit beta type-9
176	PSMB2	Proteasome subunit beta type-2
177	PSMB1	Proteasome subunit beta type-1
178	CCR1	C–C chemokine receptor type 1
179	AGTR1	Type-1 angiotensin II receptor
180	P2RX3	P2X purinoceptor 3
181	HDAC9	Histone deacetylase 9
182	CRHR1	Corticotropin-releasing factor receptor 1
183	FRK	Tyrosine-protein kinase FRK
184	TNK2	Activated CDC42 kinase 1
185	HDAC8	Histone deacetylase 8
186	FPR2	Formyl peptide receptor-like
187	EGLN1	Egl nine homolog 1
188	CACNA1H	Voltage-dependent T-type calcium channel subunit alpha-1H
189	CXCR2	C–X-C chemokine receptor type 2
190	CTSL	Cathepsin L1
191	COMT	Catechol O-methyltransferase
192	TDP1	Tyrosyl-DNA phosphodiesterase 1
193	GCK	Glucokinase
194	CYP3A4	Cytochrome p450 family 3 subfamily a polypeptide 4
195	CTSK	Cathepsin K
196	CNR1	Cannabinoid receptor 1
197	IKBKE	Inhibitor of nuclear factor kappa-B kinase subunit epsilon
198	HMGCR	3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase
199	HTR2A	5-hydroxytryptamine receptor 2A
200	STK4	Serine/threonine-protein kinase 4
201	STK3	Serine/threonine-protein kinase 3
202	ADORA2A	Adenosine A2a receptor
203	BACE2	Beta-site app-cleaving enzyme 2 (memapsin 1)
204	WNT3A	Wingless-type mmtv integration site family, member 3
205	GUSB	Beta-glucuronidase
206	CYP11B2	Steroid 11beta-monooxygenase / corticosterone 18-monooxygenase
207	ROS1	Proto-oncogene tyrosine-protein kinase ROS
208	ANPEP	Alanyl aminopeptidase, membrane
209	FDFT1	Squalene synthase
210	SLC40A1	Solute carrier family 40 member 1
211	DCUN1D1	Defective in cullin neddylation 1 domain containing 1
212	CHRNB4	Neuronal acetylcholine receptor subunit beta-4
213	MMP16	Matrix metalloproteinase-16
214	KDM4A	Lysine-specific demethylase 4A
215	GBA	Glucosylceramidase
216	F13A1	Coagulation factor xiii a1 polypeptide
217	PKN2	Serine/threonine-protein kinase N2
218	MAP3K12	Mitogen-activated protein kinase kinase kinase 12
219	AURKC	Aurora kinase C
220	REN	Renin

No	Gene Name	Protein Name
221	PDE3A	cGMP-inhibited 3',5'-cyclic phosphodiesterase A
222	MAP3K2	Mitogen-activated protein kinase kinase kinase 2
223	GRK4	G protein-coupled receptor kinase 4
224	SCD	Stearoyl-coa desaturase (delta-9 desaturase)
225	GRK5	G protein-coupled receptor kinase 5
226	C5AR1	C5a anaphylatoxin chemotactic receptor 1
227	NAMPT	Nicotinamide phosphoribosyltransferase
228	CACNA1B	Voltage-dependent N-type calcium channel subunit alpha-1B
229	MMP13	Matrix metalloproteinase-13 (collagenase 3)
230	MAOA	Amine oxidase [flavin-containing] A
231	HDAC11	Histone deacetylase 11
232	ADAMTS4	A disintegrin and metalloproteinase with thrombospondin motifs 4
233	ADAMTS5	A disintegrin and metalloproteinase with thrombospondin motifs 5
234	HDAC10	Histone deacetylase 10
235	TNKS2	Tankyrase-2
236	MMP7	Matrix metalloproteinase-7 (matrilysin, uterine)
237	CTSS	Cathepsin S
238	BRD4	Bromodomain-containing protein 4
239	GAK	Cyclin-G-associated kinase
240	CSNK2B	Casein kinase II subunit beta
241	BMP1	Bone morphogenetic protein 1
242	HTR2C	5-hydroxytryptamine receptor 2C
243	PDE10A	cAMP and cAMP-inhibited cGMP 3',5'-cyclic phosphodiesterase 10A
244	FPR3	Formyl peptide receptor-like
245	F10	Coagulation factor X
246	OXTR	Oxytocin receptor
247	EPHX2	Bifunctional epoxide hydrolase 2
248	KCNA5	Potassium voltage-gated channel subfamily A member 5
249	MMP15	Matrix metalloproteinase-15
250	SLC10A2	Ileal sodium/bile acid cotransporter
251	CAMKK1	Calcium/calmodulin-dependent protein kinase kinase 1
252	CAMKK2	Calcium/calmodulin-dependent protein kinase kinase 2
253	CALCRL	Calcitonin gene-related peptide type 1 receptor
254	ABCB11	Atp-binding cassette, subfamily b (mdr/tap), member 11
255	ACVR1B	Activin receptor type-1B
256	KDM4C	Lysine-specific demethylase 4C
257	SAE1	SUMO-activating enzyme subunit 1
258	TRPA1	Transient receptor potential cation channel subfamily A member 1
259	PRCP	Lysosomal Pro-X carboxypeptidase
260	ALOX15	Arachidonate 15-lipoxygenase
261	SIK1	Serine/threonine-protein kinase SIK1
262	AVPR1B	Vasopressin V1b receptor
263	RORB	Rar-related orphan receptor beta
264	DYRK1A	Dual specificity tyrosine-phosphorylation-regulated kinase 1A
265	PGGT1B	Geranylgeranyl transferase type-1 subunit beta
266	KCNA3	Potassium voltage-gated channel subfamily A member 3
267	ADORA1	Adenosine receptor A1
268	GBA2	Non-lysosomal glucosylceramidase
269	CNR2	Cannabinoid receptor 2
270	GPR55	G protein-coupled receptor 55
271	AOC3	Amine oxidase, copper containing 3
272	HSD17B3	Testosterone 17-beta-dehydrogenase 3
273	CYP11B1	Cytochrome p450 family 11 subfamily b member 1
274	DRD3	D(3) dopamine receptor
275	CAMK1	Calcium/calmodulin-dependent protein kinase type 1
276	SCN9A	Sodium channel protein type 9 subunit alpha
277	TFPI	Tissue factor pathway inhibitor
278	F7	Coagulation factor VII
279	AVPR1A	Vasopressin V1a receptor
280	PTGS1	Prostaglandin G/H synthase 1
281	ALOX12	Arachidonate 12-lipoxygenase, 12S-type
282	OPRD1	Delta-type opioid receptor
283	SCN3A	Sodium channel protein type 3 subunit alpha

Supplementary 2. GO and KEGG Pathway Enrichment analysis arranged by the lowest LogP

No.	Category	Description	LogP	Hits
1	KEGG Pathway	PD-L1 expression and PD-1 checkpoint pathway in cancer	−25.60593524	AKT1, MAPK14, EGFR, MTOR, HIF1A, JAK2, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11, STAT3
2	KEGG Pathway	Kaposi sarcoma-associated herpesvirus infection	−21.37006059	AKT1, CASP3, MAPK14, MTOR, HIF1A, JAK2, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
3	KEGG Pathway	Proteoglycans in cancer	−21.07556468	AKT1, CASP3, MAPK14, EGFR, ESR1, MTOR, HIF1A, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11, STAT3
4	KEGG Pathway	Pathways in cancer	−20.08993123	AKT1, CASP3, EGFR, ESR1, MTOR, HDAC1, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
5	KEGG Pathway	Prolactin signaling pathway	−18.72612814	AKT1, MAPK14, ESR1, JAK2, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
6	KEGG Pathway	Chemical carcinogenesis — receptor activation	−18.59800803	AKT1, EGFR, ESR1, MTOR, HSP90AB1, JAK2, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
7	KEGG Pathway	Lipid and atherosclerosis	−18.52961231	AKT1, CASP3, MAPK14, HSP90AB1, JAK2, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
8	GO Biological Processes	cellular response to organonitrogen compound	−17.45417101	AKT1, APP, CASP3, EGFR, MTOR, FYN, JAK2, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
9	KEGG Pathway	AGE-RAGE signaling pathway in diabetic complications	−17.2642881	AKT1, CASP3, MAPK14, JAK2, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
10	GO Biological Processes	cellular response to nitrogen compound	−16.92333947	AKT1, APP, CASP3, EGFR, MTOR, FYN, JAK2, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
11	KEGG Pathway	HIF-1 signaling pathway	−16.91507977	AKT1, EGFR, MTOR, HIF1A, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
12	KEGG Pathway	Human cytomegalovirus infection	−16.12287961	AKT1, CASP3, MAPK14, EGFR, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
13	KEGG Pathway	Pancreatic cancer	−15.86530465	AKT1, EGFR, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
14	KEGG Pathway	EGFR tyrosine kinase inhibitor resistance	−15.72475938	AKT1, EGFR, MTOR, JAK2, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
15	KEGG Pathway	Hepatitis B	−15.32479169	AKT1, CASP3, MAPK14, JAK2, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
16	GO Biological Processes	transmembrane receptor protein tyrosine kinase signaling pathway	−15.29966654	AKT1, CASP3, MAPK14, EGFR, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PIK3R1, PTPN11, STAT3
17	GO Biological Processes	cellular response to chemical stress	−15.28980435	AKT1, CASP3, CDK1, EGFR, MTOR, FYN, HIF1A, JAK2, PIK3CA, MAPK3
18	GO Biological Processes	enzyme-linked receptor protein signaling pathway	−15.12435263	AKT1, CASP3, MAPK14, EGFR, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11, STAT3
19	KEGG Pathway	Prostate cancer	−14.98405536	AKT1, EGFR, MTOR, HSP90AB1, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
20	GO Biological Processes	response to peptide	−14.95922233	AKT1, APP, MAPK14, MTOR, FYN, JAK2, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, STAT3
21	KEGG Pathway	Endocrine resistance	−14.94722576	AKT1, MAPK14, EGFR, ESR1, MTOR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
22	KEGG Pathway	Th17 cell differentiation	−14.5991035	MAPK14, MTOR, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, NFKB1, MAPK3, STAT3

No.	Category	Description	LogP	Hits
23	GO Biological Processes	cellular response to growth factor stimulus	−14.58292452	AKT1, APP, CASP3, MAPK14, EGFR, FYN, HDAC1, PIK3CA, MAPK3, PTPN11, STAT3
24	KEGG Pathway	Epstein-Barr virus infection	−14.44825882	AKT1, CASP3, MAPK14, HDAC1, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, STAT3
25	KEGG Pathway	Viral carcinogenesis	−14.4092556	CASP3, CDK1, HDAC1, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
26	GO Biological Processes	response to growth factor	−14.28947282	AKT1, APP, CASP3, MAPK14, EGFR, FYN, HDAC1, PIK3CA, MAPK3, PTPN11, STAT3
27	KEGG Pathway	Human immunodeficiency virus 1 infection	−14.25707771	AKT1, CASP3, CDK1, MAPK14, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
28	KEGG Pathway	Growth hormone synthesis, secretion and action	−14.22311148	AKT1, MAPK14, MTOR, JAK2, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
29	KEGG Pathway	Thyroid hormone signaling pathway	−14.19355861	AKT1, ESR1, MTOR, HDAC1, HIF1A, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
30	GO Biological Processes	response to hormone	−14.17497647	AKT1, CASP3, MAPK14, ESR1, MTOR, JAK2, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, PTPN11, STAT3
31	KEGG Pathway	Chemical carcinogenesis — reactive oxygen species	−14.05719836	AKT1, MAPK14, EGFR, HIF1A, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
32	KEGG Pathway	Acute myeloid leukemia	−13.83527197	AKT1, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
33	KEGG Pathway	Fc epsilon RI signaling pathway	−13.78825694	AKT1, MAPK14, FYN, LYN, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
34	KEGG Pathway	Central carbon metabolism in cancer	−13.69637016	AKT1, EGFR, MTOR, HIF1A, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
35	KEGG Pathway	Phospholipase D signaling pathway	−13.47885587	AKT1, EGFR, MTOR, FYN, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
36	KEGG Pathway	Chronic myeloid leukemia	−13.43640436	AKT1, HDAC1, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
37	KEGG Pathway	Cellular senescence	−13.29282869	AKT1, CDK1, MAPK14, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
38	KEGG Pathway	Hepatitis C	−13.27026951	AKT1, CASP3, EGFR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
39	KEGG Pathway	JAK-STAT signaling pathway	−13.15964942	AKT1, EGFR, MTOR, JAK2, PIK3CA, PIK3R1, PTPN11, STAT3
40	KEGG Pathway	Colorectal cancer	−13.04750006	AKT1, CASP3, EGFR, MTOR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
41	GO Biological Processes	positive regulation of protein localization to nucleus	−13.01123492	AKT1, CDK1, MAPK14, FYN, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1
42	GO Biological Processes	hematopoietic or lymphoid organ development	−12.87683255	APP, CASP3, MAPK14, MTOR, HIF1A, JAK2, LYN, PIK3R1, MAPK3, PTPN11, STAT3
43	GO Biological Processes	protein phosphorylation	−12.86332723	AKT1, APP, CDK1, MAPK14, EGFR, MTOR, FYN, JAK2, LYN, PIK3R1, MAPK3
44	GO Biological Processes	cellular response to peptide	−12.78740546	AKT1, APP, FYN, JAK2, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, STAT3
45	KEGG Pathway	MicroRNAs in cancer	−12.7620605	CASP3, EGFR, MTOR, HDAC1, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
46	GO Biological Processes	glial cell differentiation	−12.71137655	AKT1, APP, MTOR, HDAC1, LYN, MAPK3, PTPN11, STAT3
47	KEGG Pathway	Choline metabolism in cancer	−12.6387421	AKT1, EGFR, MTOR, HIF1A, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
48	KEGG Pathway	Neutrophil extracellular trap formation	−12.59867169	AKT1, MAPK14, MTOR, HDAC1, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
49	GO Biological Processes	immune system development	−12.56948105	APP, CASP3, MAPK14, MTOR, HIF1A, JAK2, LYN, PIK3R1, MAPK3, PTPN11, STAT3
50	KEGG Pathway	Chemokine signaling pathway	−12.56191468	AKT1, JAK2, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
51	GO Biological Processes	positive regulation of protein phosphorylation	−12.55054283	AKT1, APP, EGFR, MTOR, FYN, HSP90AB1, JAK2, LYN, PIK3CA, MAPK3, PTPN11
52	KEGG Pathway	Progesterone-mediated oocyte maturation	−12.51396428	AKT1, CDK1, MAPK14, HSP90AB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
53	KEGG Pathway	Human papillomavirus infection	−12.5056256	AKT1, CASP3, EGFR, MTOR, HDAC1, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
54	KEGG Pathway	C-type lectin receptor signaling pathway	−12.45346505	AKT1, MAPK14, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
55	KEGG Pathway	T cell receptor signaling pathway	−12.45346505	AKT1, MAPK14, FYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
56	KEGG Pathway	Insulin resistance	−12.33600178	AKT1, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, PTPN11, STAT3
57	KEGG Pathway	PI3K-Akt signaling pathway	−12.24323633	AKT1, EGFR, MTOR, HSP90AB1, JAK2, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
58	KEGG Pathway	TNF signaling pathway	−12.22295848	AKT1, CASP3, MAPK14, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
59	KEGG Pathway	Toxoplasmosis	−12.22295848	AKT1, CASP3, MAPK14, JAK2, NFKB1, MAPK3, STAT3
60	GO Biological Processes	response to peptide hormone	−12.14528875	AKT1, MAPK14, MTOR, JAK2, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, STAT3
61	GO Molecular Functions	protein kinase activity	−12.11589619	AKT1, CDK1, MAPK14, EGFR, MTOR, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, MAPK3
62	GO Biological Processes	response to oxidative stress	−12.11319183	AKT1, APP, CASP3, CDK1, EGFR, FYN, HIF1A, JAK2, MAPK3
63	GO Biological Processes	positive regulation of cell migration	−12.10828754	AKT1, APP, EGFR, MTOR, HIF1A, JAK2, LYN, PIK3R1, MAPK3, STAT3
64	KEGG Pathway	Sphingolipid signaling pathway	−12.03482773	AKT1, MAPK14, FYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
65	KEGG Pathway	Neurotrophin signaling pathway	−12.03482773	AKT1, MAPK14, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
66	GO Biological Processes	positive regulation of hydrolase activity	−11.93699527	AKT1, APP, EGFR, ESR1, MTOR, FYN, HSP90AB1, JAK2, LYN, STAT3
67	GO Biological Processes	positive regulation of cell motility	−11.91516041	AKT1, APP, EGFR, MTOR, HIF1A, JAK2, LYN, PIK3R1, MAPK3, STAT3
68	KEGG Pathway	Platelet activation	−11.90732075	AKT1, MAPK14, FYN, LYN, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
69	KEGG Pathway	Osteoclast differentiation	−11.80907918	AKT1, MAPK14, FYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
70	GO Biological Processes	positive regulation of locomotion	−11.80766272	AKT1, APP, EGFR, MTOR, HIF1A, JAK2, LYN, PIK3R1, MAPK3, STAT3
71	GO Biological Processes	gliogenesis	−11.79564418	AKT1, APP, MTOR, HDAC1, LYN, MAPK3, PTPN11, STAT3
72	KEGG Pathway	Relaxin signaling pathway	−11.78501358	AKT1, MAPK14, EGFR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
73	KEGG Pathway	FoxO signaling pathway	−11.73745431	AKT1, MAPK14, EGFR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
74	KEGG Pathway	Shigellosis	−11.68080542	AKT1, MAPK14, EGFR, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
75	GO Biological Processes	regulation of generation of precursor metabolites and energy	−11.66750111	AKT1, APP, CDK1, MTOR, HIF1A, PIK3CA, STAT3
76	GO Biological Processes	regulation of protein localization to nucleus	−11.64454162	AKT1, CDK1, MAPK14, FYN, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1
77	KEGG Pathway	Estrogen signaling pathway	−11.57670035	AKT1, EGFR, ESR1, HSP90AB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
78	GO Biological Processes	hemopoiesis	−11.52059297	APP, CASP3, MAPK14, MTOR, HIF1A, JAK2, LYN, PIK3R1, PTPN11, STAT3

No.	Category	Description	LogP	Hits
79	KEGG Pathway	Signaling pathways regulating pluripotency of stem cells	−11.46693871	AKT1, MAPK14, JAK2, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
80	KEGG Pathway	Breast cancer	−11.3819379	AKT1, EGFR, ESR1, MTOR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
81	GO Molecular Functions	phosphotransferase activity, alcohol group as acceptor	−11.3713734	AKT1, CDK1, MAPK14, EGFR, MTOR, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, MAPK3
82	KEGG Pathway	Renal cell carcinoma	−11.36358994	AKT1, HIF1A, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
83	KEGG Pathway	Adipocytokine signaling pathway	−11.36358994	AKT1, MTOR, JAK2, NFKB1, PTPN11, STAT3
84	KEGG Pathway	Epithelial cell signaling in Helicobacter pylori infection	−11.32484491	CASP3, MAPK14, EGFR, LYN, NFKB1, PTPN11
85	GO Molecular Functions	nitric-oxide synthase regulator activity	−11.3091372	AKT1, EGFR, ESR1, HSP90AB1
86	GO Biological Processes	positive regulation of protein localization	−11.30101719	AKT1, CDK1, MAPK14, EGFR, FYN, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1
87	KEGG Pathway	Non-small cell lung cancer	−11.24905745	AKT1, EGFR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
88	KEGG Pathway	Glioma	−11.13939357	AKT1, EGFR, MTOR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
89	GO Biological Processes	cellular response to cytokine stimulus	−11.06433556	AKT1, MAPK14, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, LYN, NFKB1, MAPK3, PTPN11, STAT3
90	GO Molecular Functions	kinase activity	−11.02897018	AKT1, CDK1, MAPK14, EGFR, MTOR, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, MAPK3
91	GO Biological Processes	cellular response to hormone stimulus	−11.02736862	AKT1, ESR1, JAK2, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, PTPN11, STAT3
92	GO Biological Processes	response to reactive oxygen species	−10.93516598	AKT1, CASP3, CDK1, EGFR, FYN, HIF1A, MAPK3
93	KEGG Pathway	Influenza A	−10.91717816	AKT1, CASP3, JAK2, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
94	KEGG Pathway	B cell receptor signaling pathway	−10.90030852	AKT1, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
95	GO Biological Processes	response to growth hormone	−10.8288892	AKT1, JAK2, LYN, PIK3R1, STAT3
96	GO Biological Processes	cellular response to organic cyclic compound	−10.80980539	APP, CASP3, CDK1, EGFR, ESR1, HSP90AB1, JAK2, NFKB1, MAPK3
97	KEGG Pathway	ErbB signaling pathway	−10.8042639	AKT1, EGFR, MTOR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
98	GO Molecular Functions	kinase binding	−10.72902229	AKT1, MAPK14, EGFR, ESR1, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1, PTPN11, STAT3
99	GO Biological Processes	regulation of kinase activity	−10.70181571	AKT1, APP, CASP3, EGFR, MTOR, HSP90AB1, JAK2, LYN, PIK3CA, PIK3R1
100	GO Biological Processes	negative regulation of catabolic process	−10.67450491	AKT1, MAPK14, EGFR, MTOR, FYN, HSP90AB1, PIK3CA, STAT3
101	GO Biological Processes	response to inorganic substance	−10.65450966	AKT1, APP, CASP3, CDK1, EGFR, FYN, HIF1A, PIK3CA, MAPK3
102	GO Biological Processes	protein autophosphorylation	−10.64321417	AKT1, EGFR, MTOR, FYN, JAK2, LYN, MAPK3
103	GO Biological Processes	regulation of cellular catabolic process	−10.6372414	AKT1, APP, CASP3, MAPK14, MTOR, HIF1A, HSP90AB1, PIK3CA, MAPK3, STAT3
104	GO Biological Processes	regulation of intracellular transport	−10.61216349	CDK1, MAPK14, FYN, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
105	KEGG Pathway	Chagas disease	−10.31881764	AKT1, MAPK14, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
106	GO Biological Processes	positive regulation of protein import into nucleus	−10.31610654	CDK1, MAPK14, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1
107	KEGG Pathway	Toll-like receptor signaling pathway	−10.2672912	AKT1, MAPK14, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
108	GO Biological Processes	T cell costimulation	−10.2598053	AKT1, FYN, LYN, PIK3CA, PTPN11
109	GO Biological Processes	lymphocyte costimulation	−10.15143311	AKT1, FYN, LYN, PIK3CA, PTPN11
110	KEGG Pathway	Alzheimer disease	−10.15107986	AKT1, APP, CASP3, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
111	GO Biological Processes	regulation of nucleocytoplasmic transport	−10.14282183	CDK1, MAPK14, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1, PTPN11
112	GO Biological Processes	cellular response to oxidative stress	−10.11953745	AKT1, CDK1, EGFR, FYN, HIF1A, JAK2, MAPK3
113	GO Biological Processes	regulation of intracellular protein transport	−10.07866597	CDK1, MAPK14, FYN, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1, PTPN11
114	KEGG Pathway	Cholinergic synapse	−10.04741473	AKT1, FYN, JAK2, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
115	GO Biological Processes	regulation of growth	−10.04724808	AKT1, APP, CDK1, MAPK14, EGFR, MTOR, HIF1A, PIK3CA, STAT3
116	KEGG Pathway	Coronavirus disease — COVID-19	−9.985433669	MAPK14, EGFR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, STAT3
117	KEGG Pathway	Ras signaling pathway	−9.946357234	AKT1, EGFR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
118	GO Biological Processes	response to amino acid	−9.932936136	CASP3, EGFR, MTOR, FYN, LYN, PIK3CA
119	GO Biological Processes	cellular response to peptide hormone stimulus	−9.869717035	AKT1, JAK2, LYN, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, STAT3
120	GO Biological Processes	gland development	−9.858986444	AKT1, EGFR, ESR1, HIF1A, JAK2, NFKB1, PIK3CA, MAPK3
121	KEGG Pathway	Salmonella infection	−9.770520972	AKT1, CASP3, MAPK14, HSP90AB1, NFKB1, PIK3CA, MAPK3
122	GO Biological Processes	regulation of protein kinase activity	−9.762743092	AKT1, APP, CASP3, EGFR, MTOR, HSP90AB1, JAK2, LYN, PIK3CA
123	GO Biological Processes	regulation of defense response	−9.717371628	APP, MAPK14, ESR1, FYN, JAK2, LYN, NFKB1, MAPK3, PTPN11
124	KEGG Pathway	Natural killer cell mediated cytotoxicity	−9.6572066	CASP3, FYN, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
125	GO Biological Processes	myeloid cell differentiation	−9.639338898	APP, CASP3, MAPK14, JAK2, LYN, PIK3R1, PTPN11
126	GO Biological Processes	cell activation	−9.633766401	APP, MAPK14, MTOR, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PIK3R1, STAT3
127	GO Molecular Functions	protein kinase binding	−9.622760047	AKT1, MAPK14, ESR1, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1, PTPN11, STAT3
128	GO Biological Processes	response to acid chemical	−9.617301819	CASP3, EGFR, MTOR, FYN, LYN, PIK3CA
129	GO Biological Processes	regulation of peptidyl-tyrosine phosphorylation	−9.570165179	APP, EGFR, MTOR, FYN, JAK2, LYN, PTPN11
130	KEGG Pathway	Apoptosis	−9.55858719	AKT1, CASP3, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
131	KEGG Pathway	Yersinia infection	−9.539311198	AKT1, MAPK14, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
132	KEGG Pathway	Measles	−9.501189451	AKT1, CASP3, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, STAT3
133	KEGG Pathway	Fluid shear stress and atherosclerosis	−9.501189451	AKT1, MAPK14, HSP90AB1, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1
134	KEGG Pathway	Endometrial cancer	−9.476514138	AKT1, EGFR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
135	GO Biological Processes	regulation of cellular response to stress	−9.466736095	AKT1, APP, EGFR, MTOR, FYN, HIF1A, LYN, PIK3R1, MAPK3
136	KEGG Pathway	Autophagy — animal	−9.463627452	AKT1, MTOR, HIF1A, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
137	KEGG Pathway	VEGF signaling pathway	−9.438236053	AKT1, MAPK14, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
138	GO Biological Processes	regulation of protein import into nucleus	−9.438236053	CDK1, MAPK14, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1
139	KEGG Pathway	Longevity regulating pathway — multiple species	−9.327329371	AKT1, MTOR, HDAC1, PIK3CA, PIK3R1
140	GO Biological Processes	positive regulation of nucleocytoplasmic transport	−9.327329371	CDK1, MAPK14, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1

No.	Category	Description	LogP	Hits
141	KEGG Pathway	Gastric cancer	−9.318665766	AKT1, EGFR, MTOR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
142	GO Biological Processes	regulation of cell-cell adhesion	−9.313692131	AKT1, CASP3, MAPK14, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
143	KEGG Pathway	Herpes simplex virus 1 infection	−9.278943549	AKT1, CASP3, MTOR, JAK2, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, PTPN11
144	GO Biological Processes	positive regulation of protein transport	−9.267204676	CDK1, MAPK14, FYN, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1
145	GO Biological Processes	regulation of protein transport	−9.237719413	CDK1, MAPK14, FYN, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1, PTPN11
146	KEGG Pathway	Non-alcoholic fatty liver disease	−9.215098795	AKT1, CASP3, MAPK14, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1
147	GO Biological Processes	positive regulation of intracellular protein transport	−9.181489447	CDK1, MAPK14, FYN, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1
148	GO Biological Processes	growth hormone receptor signaling pathway	−9.170307892	JAK2, LYN, PIK3R1, STAT3
149	GO Biological Processes	cellular response to growth hormone stimulus	−9.170307892	JAK2, LYN, PIK3R1, STAT3
150	GO Biological Processes	regulation of macroautophagy	−9.131891065	AKT1, CASP3, MTOR, HIF1A, PIK3CA, MAPK3
151	GO Biological Processes	positive regulation of establishment of protein localization	−9.107118919	CDK1, MAPK14, FYN, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1
152	GO Biological Processes	regulation of establishment of protein localization	−9.071260467	CDK1, MAPK14, FYN, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1, PTPN11
153	GO Biological Processes	cellular response to lipid	−9.058297952	AKT1, MAPK14, EGFR, ESR1, JAK2, LYN, NFKB1, MAPK3
154	KEGG Pathway	Hepatocellular carcinoma	−9.004158986	AKT1, EGFR, MTOR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
155	GO Biological Processes	cellular response to abiotic stimulus	−9.001908371	CASP3, MAPK14, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
156	GO Biological Processes	cellular response to environmental stimulus	−9.001908371	CASP3, MAPK14, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
157	GO Biological Processes	inflammatory response	−9.000586534	AKT1, APP, MTOR, HIF1A, JAK2, LYN, NFKB1, STAT3
158	KEGG Pathway	Melanoma	−8.994237188	AKT1, EGFR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
159	GO Biological Processes	response to lipopolysaccharide	−8.973856961	AKT1, CASP3, MAPK14, JAK2, LYN, NFKB1, MAPK3
160	GO Biological Processes	regulation of neuron death	−8.964565759	AKT1, CASP3, FYN, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, PIK3CA
161	KEGG Pathway	Platinum drug resistance	−8.963603449	AKT1, CASP3, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
162	GO Cellular Components	membrane raft	−8.955303885	APP, CASP3, EGFR, FYN, JAK2, LYN, MAPK3
163	GO Cellular Components	membrane microdomain	−8.946071158	APP, CASP3, EGFR, FYN, JAK2, LYN, MAPK3
164	KEGG Pathway	Tuberculosis	−8.823819654	AKT1, CASP3, MAPK14, JAK2, NFKB1, MAPK3
165	GO Biological Processes	positive regulation of carbohydrate metabolic process	−8.816673471	AKT1, APP, MTOR, HIF1A, NFKB1
166	GO Biological Processes	regulation of autophagy	−8.793406338	AKT1, CASP3, MTOR, HIF1A, PIK3CA, MAPK3, STAT3
167	GO Biological Processes	response to molecule of bacterial origin	−8.78466906	AKT1, CASP3, MAPK14, JAK2, LYN, NFKB1, MAPK3
168	GO Biological Processes	regulation of carbohydrate metabolic process	−8.738226297	AKT1, APP, MTOR, HIF1A, NFKB1, STAT3
169	GO Biological Processes	positive regulation of transferase activity	−8.702923404	AKT1, EGFR, MTOR, HSP90AB1, JAK2, LYN, PIK3CA, MAPK3
170	GO Biological Processes	behavior	−8.65677819	AKT1, APP, CASP3, EGFR, MTOR, FYN, HIF1A, STAT3
171	GO Biological Processes	response to metal ion	−8.656647228	AKT1, APP, CASP3, CDK1, EGFR, HIF1A, MAPK3
172	GO Biological Processes	positive regulation of peptidyl-tyrosine phosphorylation	−8.641878962	EGFR, MTOR, FYN, JAK2, LYN, PTPN11
173	KEGG Pathway	Pathogenic Escherichia coli infection	−8.588420896	CASP3, MAPK14, FYN, NFKB1, MAPK3, PTPN11
174	GO Biological Processes	positive regulation of intracellular transport	−8.562108164	CDK1, MAPK14, FYN, HSP90AB1, JAK2, PIK3R1
175	KEGG Pathway	Focal adhesion	−8.536065464	AKT1, EGFR, FYN, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
176	GO Biological Processes	regulation of T cell activation	−8.526002236	AKT1, CASP3, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
177	KEGG Pathway	Longevity regulating pathway	−8.525038724	AKT1, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1
178	GO Biological Processes	regulation of leukocyte cell-cell adhesion	−8.518027851	AKT1, CASP3, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
179	KEGG Pathway	Diabetic cardiomyopathy	−8.51028738	AKT1, MAPK14, MTOR, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1
180	GO Biological Processes	cellular response to lipopolysaccharide	−8.484768658	AKT1, MAPK14, JAK2, LYN, NFKB1, MAPK3
181	GO Biological Processes	response to tumor necrosis factor	−8.472104958	AKT1, CASP3, MAPK14, JAK2, NFKB1, MAPK3
182	KEGG Pathway	Small cell lung cancer	−8.451944411	AKT1, CASP3, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1
183	GO Molecular Functions	phosphoprotein binding	−8.451944411	MTOR, LYN, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
184	GO Biological Processes	glucose homeostasis	−8.434489054	AKT1, HIF1A, PIK3CA, PIK3R1, PTPN11, STAT3
185	KEGG Pathway	Rap1 signaling pathway	−8.422073466	AKT1, MAPK14, EGFR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
186	GO Biological Processes	carbohydrate homeostasis	−8.422073466	AKT1, HIF1A, PIK3CA, PIK3R1, PTPN11, STAT3
187	KEGG Pathway	IL-17 signaling pathway	−8.404566827	CASP3, MAPK14, HSP90AB1, NFKB1, MAPK3
188	GO Biological Processes	response to insulin	−8.373010729	AKT1, MAPK14, MTOR, LYN, PIK3CA, PIK3R1
189	GO Biological Processes	regulation of myeloid cell differentiation	−8.373010729	MAPK14, MTOR, HIF1A, LYN, PIK3R1, STAT3
190	GO Biological Processes	cellular response to molecule of bacterial origin	−8.336827503	AKT1, MAPK14, JAK2, LYN, NFKB1, MAPK3
191	KEGG Pathway	Fc gamma R-mediated phagocytosis	−8.335412816	AKT1, LYN, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
192	GO Biological Processes	regulation of inflammatory response	−8.237345462	APP, MAPK14, ESR1, FYN, JAK2, LYN, NFKB1
193	GO Biological Processes	positive regulation of tumor necrosis factor production	−8.161251129	APP, JAK2, PIK3R1, PTPN11, STAT3
194	GO Biological Processes	regulation of endopeptidase activity	−8.137829153	AKT1, APP, FYN, HDAC1, JAK2, LYN, STAT3
195	GO Biological Processes	cell morphogenesis	−8.128833509	APP, CASP3, MAPK14, EGFR, FYN, HSP90AB1, PIK3R1, PTPN11
196	GO Molecular Functions	protein serine/threonine kinase activity	−8.123887112	AKT1, CDK1, MAPK14, EGFR, MTOR, PIK3CA, MAPK3
197	GO Biological Processes	positive regulation of peptidyl-serine phosphorylation	−8.099437431	AKT1, APP, EGFR, HSP90AB1, PIK3CA
198	GO Biological Processes	positive regulation of tumor necrosis factor superfamily cytokine production	−8.079224588	APP, JAK2, PIK3R1, PTPN11, STAT3
199	GO Biological Processes	positive regulation of glucose import	−8.038895991	AKT1, MAPK14, PIK3R1, PTPN11
200	GO Biological Processes	response to wounding	−8.034862708	CASP3, CDK1, MAPK14, HIF1A, JAK2, LYN, PIK3CA
201	GO Biological Processes	cellular response to biotic stimulus	−8.03255863	AKT1, MAPK14, JAK2, LYN, NFKB1, MAPK3

No.	Category	Description	LogP	Hits
202	GO Biological Processes	negative regulation of cellular catabolic process	−8.021964111	AKT1, MAPK14, MTOR, HSP90AB1, PIK3CA, STAT3
203	GO Biological Processes	response to radiation	−8.014701448	AKT1, APP, CASP3, MAPK14, EGFR, HIF1A, PIK3R1
204	GO Biological Processes	positive regulation of T cell activation	−7.95931519	AKT1, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
205	GO Biological Processes	homeostasis of number of cells	−7.949023446	AKT1, CASP3, HIF1A, JAK2, LYN, PTPN11
206	GO Biological Processes	lipopolysaccharide-mediated signaling pathway	−7.94396352	AKT1, MAPK14, LYN, MAPK3
207	GO Biological Processes	regulation of peptidase activity	−7.928923846	AKT1, APP, FYN, HDAC1, JAK2, LYN, STAT3
208	GO Biological Processes	cellular response to reactive oxygen species	−7.905448208	AKT1, CDK1, EGFR, FYN, MAPK3
209	GO Biological Processes	cellular response to DNA damage stimulus	−7.902844783	CASP3, CDK1, MAPK14, MTOR, LYN, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
210	GO Biological Processes	regulation of proteolysis	−7.866662191	AKT1, APP, FYN, HDAC1, HSP90AB1, JAK2, LYN, STAT3
211	GO Biological Processes	positive regulation of cytokine production	−7.758516189	APP, MAPK14, HIF1A, JAK2, PIK3R1, PTPN11, STAT3
212	KEGG Pathway	Prion disease	−7.742082325	CASP3, MAPK14, FYN, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
213	GO Biological Processes	mammary gland development	−7.727664411	AKT1, ESR1, HIF1A, JAK2, NFKB1
214	GO Biological Processes	positive regulation of glucose transmembrane transport	−7.727283629	AKT1, MAPK14, PIK3R1, PTPN11
215	GO Biological Processes	positive regulation of leukocyte cell-cell adhesion	−7.723233682	AKT1, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
216	GO Biological Processes	positive regulation of mitotic cell cycle	−7.71067676	AKT1, APP, CDK1, EGFR, PTPN11
217	GO Biological Processes	positive regulation of kinase activity	−7.70990026	AKT1, EGFR, MTOR, HSP90AB1, JAK2, LYN, PIK3CA
218	KEGG Pathway	Type II diabetes mellitus	−7.647715227	MTOR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
219	GO Biological Processes	response to epidermal growth factor	−7.609270226	AKT1, EGFR, MAPK3, PTPN11
220	GO Biological Processes	regulation of erythrocyte differentiation	−7.609270226	MAPK14, HIF1A, LYN, STAT3
221	GO Biological Processes	regulation of glycolytic process	−7.609270226	APP, MTOR, HIF1A, STAT3
222	KEGG Pathway	Insulin signaling pathway	−7.579454142	AKT1, MTOR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
223	KEGG Pathway	MAPK signaling pathway	−7.550897255	AKT1, CASP3, MAPK14, EGFR, NFKB1, MAPK3
224	GO Biological Processes	epidermal growth factor receptor signaling pathway	−7.534866906	AKT1, EGFR, PIK3CA, PTPN11
225	GO Biological Processes	growth hormone receptor signaling pathway via JAK-STAT	−7.525687391	JAK2, LYN, STAT3
226	GO Biological Processes	regulation of peptidyl-serine phosphorylation	−7.486099948	AKT1, APP, EGFR, HSP90AB1, PIK3CA
227	GO Biological Processes	placenta development	−7.396682662	AKT1, MAPK14, EGFR, HIF1A, HSP90AB1
228	GO Biological Processes	response to light stimulus	−7.373274127	AKT1, APP, CASP3, EGFR, HIF1A, PIK3R1
229	GO Biological Processes	negative regulation of intracellular signal transduction	−7.369353052	AKT1, MAPK14, ESR1, MTOR, HDAC1, HIF1A, LYN
230	GO Biological Processes	positive regulation of cell-cell adhesion	−7.316764898	AKT1, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
231	GO Biological Processes	regulation of carbohydrate catabolic process	−7.297230451	APP, MTOR, HIF1A, STAT3
232	KEGG Pathway	mTOR signaling pathway	−7.296919924	AKT1, MTOR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
233	GO Biological Processes	regulation of lymphocyte activation	−7.269442286	AKT1, CASP3, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
234	GO Biological Processes	regulation of monooxygenase activity	−7.265815884	AKT1, EGFR, HIF1A, NFKB1
235	GO Biological Processes	anoikis	−7.262813148	AKT1, MTOR, PIK3CA
236	GO Biological Processes	leukocyte activation	−7.259125956	APP, MTOR, FYN, JAK2, LYN, PIK3R1, STAT3
237	GO Biological Processes	regulation of developmental growth	−7.238194925	AKT1, APP, CDK1, MAPK14, PIK3CA, STAT3
238	GO Biological Processes	peptidyl-tyrosine phosphorylation	−7.228434555	EGFR, FYN, JAK2, LYN, MAPK3
239	GO Biological Processes	mammary gland epithelium development	−7.204661172	AKT1, ESR1, HIF1A, JAK2
240	GO Biological Processes	regulation of glucose import	−7.204661172	AKT1, MAPK14, PIK3R1, PTPN11
241	GO Biological Processes	peptidyl-tyrosine modification	−7.201649624	EGFR, FYN, JAK2, LYN, MAPK3
242	GO Biological Processes	regulation of small molecule metabolic process	−7.184633513	AKT1, APP, MTOR, HIF1A, NFKB1, STAT3
243	GO Biological Processes	transcription by RNA polymerase II	−7.177075066	MAPK14, ESR1, JAK2, NFKB1, PIK3R1, STAT3
244	GO Biological Processes	response to cadmium ion	−7.174882373	AKT1, CDK1, EGFR, MAPK3
245	GO Biological Processes	astrocyte differentiation	−7.174882373	APP, MAPK3, PTPN11, STAT3
246	GO Biological Processes	DNA-templated transcription	−7.157965956	MAPK14, ESR1, JAK2, NFKB1, PIK3R1, MAPK3, STAT3
247	GO Molecular Functions	insulin receptor substrate binding	−7.149053392	JAK2, PIK3CA, PIK3R1
248	GO Biological Processes	nucleic acid-templated transcription	−7.148044855	MAPK14, ESR1, JAK2, NFKB1, PIK3R1, MAPK3, STAT3
249	GO Biological Processes	ERBB signaling pathway	−7.14561182	AKT1, EGFR, PIK3CA, PTPN11
250	GO Biological Processes	lymphocyte homeostasis	−7.116832552	AKT1, CASP3, HIF1A, LYN
251	GO Biological Processes	RNA biosynthetic process	−7.098951983	MAPK14, ESR1, JAK2, NFKB1, PIK3R1, MAPK3, STAT3
252	KEGG Pathway	GnRH secretion	−7.060684152	AKT1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
253	GO Biological Processes	regulation of transmembrane transport	−7.045911866	AKT1, APP, MAPK14, FYN, LYN, PIK3R1, PTPN11
254	GO Molecular Functions	protein serine kinase activity	−7.009285065	AKT1, CDK1, MAPK14, MTOR, PIK3CA, MAPK3
255	GO Biological Processes	cytokine-mediated signaling pathway	−6.988211986	AKT1, JAK2, LYN, MAPK3, PTPN11, STAT3
256	KEGG Pathway	Axon guidance	−6.962829317	FYN, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3, PTPN11
257	GO Biological Processes	cellular response to tumor necrosis factor	−6.962829317	AKT1, MAPK14, JAK2, NFKB1, MAPK3
258	GO Biological Processes	positive regulation of proteolysis	−6.946595549	AKT1, APP, FYN, JAK2, LYN, STAT3
259	GO Biological Processes	regulation of tumor necrosis factor production	−6.93919451	APP, JAK2, PIK3R1, PTPN11, STAT3

No.	Category	Description	LogP	Hits
260	GO Biological Processes	regulation of tumor necrosis factor superfamily cytokine production	−6.881242688	APP, JAK2, PIK3R1, PTPN11, STAT3
261	GO Biological Processes	forebrain development	−6.878751451	APP, CASP3, EGFR, FYN, HDAC1, HIF1A
262	GO Biological Processes	neuron projection development	−6.847603598	APP, CASP3, FYN, HSP90AB1, JAK2, LYN, PTPN11
263	GO Biological Processes	regulation of ATP metabolic process	−6.828574422	APP, MTOR, HIF1A, STAT3
264	GO Biological Processes	positive regulation of peptidase activity	−6.82484419	APP, FYN, JAK2, LYN, STAT3
265	GO Molecular Functions	phosphatase binding	−6.813743749	MAPK14, EGFR, PIK3R1, MAPK3, STAT3
266	GO Biological Processes	regulation of leukocyte activation	−6.807800895	AKT1, CASP3, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
267	GO Biological Processes	tube morphogenesis	−6.807800895	AKT1, CASP3, MAPK14, EGFR, ESR1, HIF1A, PIK3CA
268	GO Biological Processes	leukocyte differentiation	−6.799720062	APP, MAPK14, MTOR, LYN, PIK3R1, STAT3
269	GO Biological Processes	axon development	−6.78035085	APP, CASP3, FYN, HSP90AB1, JAK2, PTPN11
270	GO Biological Processes	positive regulation of lymphocyte activation	−6.761132373	AKT1, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
271	KEGG Pathway	Pertussis	−6.757710087	CASP3, MAPK14, NFKB1, MAPK3
272	KEGG Pathway	Leishmaniasis	−6.734726677	MAPK14, JAK2, NFKB1, MAPK3
273	GO Biological Processes	regulation of glucose transmembrane transport	−6.734726677	AKT1, MAPK14, PIK3R1, PTPN11
274	GO Molecular Functions	protein domain specific binding	−6.708564952	APP, FYN, HDAC1, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, LYN
275	GO Biological Processes	cell population proliferation	−6.687447164	AKT1, CDK1, EGFR, ESR1, FYN, HIF1A, STAT3
276	GO Biological Processes	striated muscle cell differentiation	−6.684921429	AKT1, CASP3, CDK1, MAPK14, MTOR
277	GO Biological Processes	regulation of hemopoiesis	−6.679539858	MAPK14, MTOR, HIF1A, LYN, PIK3R1, STAT3
278	GO Biological Processes	positive regulation of protein kinase activity	−6.648863492	AKT1, EGFR, MTOR, HSP90AB1, JAK2, PIK3CA
279	GO Biological Processes	response to mechanical stimulus	−6.643679794	MAPK14, FYN, NFKB1, PIK3CA, MAPK3
280	GO Biological Processes	MAPK cascade	−6.583299952	CDK1, MAPK14, EGFR, NFKB1, MAPK3
281	GO Biological Processes	regulation of neuron apoptotic process	−6.573403699	CASP3, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, PIK3CA
282	GO Biological Processes	negative regulation of neuron death	−6.573403699	AKT1, HIF1A, HSP90AB1, JAK2, PIK3CA
283	GO Biological Processes	regulation of cell activation	−6.567999635	AKT1, CASP3, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
284	GO Cellular Components	perinuclear region of cytoplasm	−6.5599464	APP, EGFR, FYN, HSP90AB1, LYN, PIK3CA, PIK3R1
285	KEGG Pathway	cAMP signaling pathway	−6.543992544	AKT1, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
286	KEGG Pathway	Human T-cell leukemia virus 1 infection	−6.534279953	AKT1, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
287	GO Biological Processes	negative regulation of autophagy	−6.520452713	AKT1, MTOR, PIK3CA, STAT3
288	GO Biological Processes	leukocyte homeostasis	−6.520452713	AKT1, CASP3, HIF1A, LYN
289	GO Biological Processes	positive regulation of glycolytic process	−6.483036536	APP, MTOR, HIF1A
290	GO Biological Processes	cellular response to acid chemical	−6.480647197	EGFR, MTOR, FYN, PIK3CA
291	GO Biological Processes	negative regulation of immune system process	−6.466762437	AKT1, CASP3, MAPK14, FYN, LYN, PIK3R1
292	GO Biological Processes	positive regulation of leukocyte activation	−6.46110729	AKT1, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
293	GO Biological Processes	regulation of leukocyte migration	−6.448838462	AKT1, APP, LYN, PIK3R1, MAPK3
294	GO Biological Processes	response to bacterium	−6.445706502	AKT1, CASP3, MAPK14, JAK2, LYN, NFKB1, MAPK3
295	GO Biological Processes	regulation of cell cycle phase transition	−6.444219713	AKT1, APP, CDK1, MAPK14, EGFR, PTPN11
296	GO Biological Processes	regulation of DNA-binding transcription factor activity	−6.438616284	AKT1, APP, ESR1, JAK2, MAPK3, STAT3
297	GO Biological Processes	brain development	−6.430309537	APP, CASP3, EGFR, FYN, HDAC1, HIF1A, PTPN11
298	KEGG Pathway	Th1 and Th2 cell differentiation	−6.422629285	MAPK14, JAK2, NFKB1, MAPK3
299	GO Biological Processes	positive regulation of phosphoprotein phosphatase activity	−6.419551049	MTOR, HSP90AB1, JAK2
300	GO Biological Processes	cellular response to virus	−6.385019969	MAPK14, HIF1A, JAK2, NFKB1
301	GO Biological Processes	regulation of purine nucleotide metabolic process	−6.385019969	APP, MTOR, HIF1A, STAT3
302	GO Biological Processes	positive regulation of cell activation	−6.366915129	AKT1, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
303	KEGG Pathway	Pathways of neurodegeneration — multiple diseases	−6.318479144	APP, CASP3, MAPK14, MTOR, NFKB1, MAPK3
304	GO Molecular Functions	kinase regulator activity	−6.313772293	CASP3, EGFR, HSP90AB1, PIK3CA, PIK3R1
305	GO Biological Processes	positive regulation of smooth muscle cell proliferation	−6.312205303	AKT1, HDAC1, JAK2, PIK3CA
306	GO Biological Processes	regulation of nucleotide metabolic process	−6.294478208	APP, MTOR, HIF1A, STAT3
307	GO Biological Processes	positive regulation of mitotic cell cycle phase transition	−6.276933938	AKT1, APP, CDK1, EGFR
308	GO Biological Processes	positive regulation of cell adhesion	−6.276216773	AKT1, FYN, JAK2, LYN, PIK3CA, PTPN11
309	GO Biological Processes	positive regulation of protein localization to membrane	−6.259568796	AKT1, EGFR, FYN, PIK3R1
310	KEGG Pathway	Amoebiasis	−6.2423792	CASP3, NFKB1, PIK3CA, PIK3R1
311	GO Biological Processes	response to heat	−6.2423792	AKT1, MTOR, HSP90AB1, LYN
312	GO Biological Processes	response to muscle stretch	−6.192832789	MAPK14, NFKB1, PIK3CA
313	GO Biological Processes	regulation of miRNA maturation	−6.192832789	EGFR, ESR1, STAT3
314	GO Biological Processes	positive regulation of growth	−6.186929648	AKT1, CDK1, MAPK14, EGFR, MTOR
315	GO Biological Processes	biological process involved in symbiotic interaction	−6.186929648	CDK1, EGFR, HDAC1, HSP90AB1, JAK2
316	GO Biological Processes	positive regulation of DNA-binding transcription factor activity	−6.146311481	AKT1, APP, ESR1, JAK2, STAT3
317	GO Biological Processes	regulation of oxidoreductase activity	−6.14274028	AKT1, EGFR, HIF1A, NFKB1

No.	Category	Description	LogP	Hits
318	GO Biological Processes	rhythmic process	−6.114379365	CASP3, CDK1, ESR1, MTOR, HDAC1
319	GO Biological Processes	regulation of hormone levels	−6.10924127	ESR1, HIF1A, JAK2, LYN, NFKB1, PTPN11
320	GO Biological Processes	regulation of production of small RNA involved in gene silencing by RNA	−6.092829425	EGFR, ESR1, STAT3
321	GO Biological Processes	learning or memory	−6.090748602	APP, CASP3, EGFR, FYN, HIF1A
322	GO Biological Processes	muscle cell differentiation	−6.082931121	AKT1, CASP3, CDK1, MAPK14, MTOR
323	KEGG Pathway	Leukocyte transendothelial migration	−6.048625783	MAPK14, PIK3CA, PIK3R1, PTPN11
324	GO Biological Processes	positive regulation of lamellipodium assembly	−6.045588366	MTOR, PIK3CA, PIK3R1
325	GO Biological Processes	B cell homeostasis	−6.000014465	CASP3, HIF1A, LYN
326	GO Biological Processes	regulation of DNA metabolic process	−5.999299105	AKT1, CDK1, EGFR, HSP90AB1, PIK3CA, MAPK3
327	GO Biological Processes	cell morphogenesis involved in differentiation	−5.980677858	APP, CASP3, FYN, HSP90AB1, PIK3R1, PTPN11
328	GO Biological Processes	regulation of cyclin-dependent protein kinase activity	−5.959461169	AKT1, CASP3, EGFR, HSP90AB1
329	GO Biological Processes	cellular response to interleukin-6	−5.955994392	JAK2, NFKB1, STAT3
330	KEGG Pathway	AMPK signaling pathway	−5.945046194	AKT1, MTOR, PIK3CA, PIK3R1
331	GO Biological Processes	response to estradiol	−5.945046194	CASP3, EGFR, ESR1, STAT3
332	GO Biological Processes	positive regulation of cell cycle phase transition	−5.930752906	AKT1, APP, CDK1, EGFR
333	GO Biological Processes	regulation of ossification	−5.930752906	MAPK14, HIF1A, MAPK3, PTPN11
334	GO Biological Processes	heart development	−5.92565936	CASP3, CDK1, MTOR, HIF1A, MAPK3, PTPN11
335	GO Biological Processes	regulation of mononuclear cell migration	−5.916579293	AKT1, APP, LYN, MAPK3
336	GO Biological Processes	negative regulation of inflammatory response to antigenic stimulus	−5.913426001	MAPK14, FYN, LYN
337	GO Biological Processes	sensory organ development	−5.894134614	EGFR, HDAC1, HIF1A, MAPK3, PTPN11, STAT3
338	GO Biological Processes	positive regulation of DNA metabolic process	−5.882297389	AKT1, CDK1, EGFR, HSP90AB1, MAPK3
339	GO Biological Processes	positive regulation of defense response	−5.840238532	APP, FYN, JAK2, LYN, MAPK3
340	GO Biological Processes	negative regulation of cell adhesion	−5.833311345	AKT1, CASP3, JAK2, PIK3R1, PTPN11
341	GO Biological Processes	response to interleukin-6	−5.83228327	JAK2, NFKB1, STAT3
342	GO Biological Processes	positive regulation of erythrocyte differentiation	−5.83228327	MAPK14, HIF1A, STAT3
343	GO Biological Processes	response to interleukin-1	−5.794093479	APP, HIF1A, NFKB1, MAPK3
344	GO Biological Processes	negative regulation of macroautophagy	−5.793548793	AKT1, MTOR, PIK3CA
345	GO Biological Processes	cognition	−5.792230092	APP, CASP3, EGFR, FYN, HIF1A
346	GO Biological Processes	regulation of ERK1 and ERK2 cascade	−5.785462154	APP, EGFR, LYN, MAPK3, PTPN11
347	GO Cellular Components	extrinsic component of membrane	−5.778716384	AKT1, FYN, LYN, PIK3CA, PIK3R1
348	GO Biological Processes	positive regulation of ATP metabolic process	−5.75594382	APP, MTOR, HIF1A
349	GO Biological Processes	positive regulation of phosphatase activity	−5.75594382	MTOR, HSP90AB1, JAK2
350	GO Molecular Functions	chromatin binding	−5.746621067	CDK1, EGFR, ESR1, HDAC1, NFKB1, STAT3
351	GO Molecular Functions	transcription factor binding	−5.746621067	MAPK14, ESR1, MTOR, HDAC1, HIF1A, STAT3
352	GO Biological Processes	positive regulation of lamellipodium organization	−5.7194046	MTOR, PIK3CA, PIK3R1
353	KEGG Pathway	Aldosterone-regulated sodium reabsorption	−5.7194046	PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
354	GO Biological Processes	cellular response to cadmium ion	−5.7194046	AKT1, EGFR, MAPK3
355	GO Biological Processes	TOR signaling	−5.7194046	AKT1, MTOR, HIF1A
356	GO Molecular Functions	protein tyrosine kinase activity	−5.717106795	EGFR, FYN, JAK2, LYN
357	GO Cellular Components	vesicle lumen	−5.705936715	APP, MAPK14, EGFR, HSP90AB1, NFKB1
358	GO Biological Processes	epithelial cell differentiation	−5.704903422	AKT1, CASP3, CDK1, ESR1, HDAC1, HIF1A
359	GO Biological Processes	activation of protein kinase activity	−5.704610329	EGFR, MTOR, JAK2, PIK3CA
360	GO Molecular Functions	growth factor receptor binding	−5.692205769	APP, FYN, JAK2, LYN
361	KEGG Pathway	Alcoholic liver disease	−5.667667106	AKT1, CASP3, MAPK14, NFKB1
362	KEGG Pathway	Spinocerebellar ataxia	−5.655530442	AKT1, MTOR, PIK3CA, PIK3R1
363	GO Biological Processes	regulation of Wnt signaling pathway	−5.648248833	APP, MAPK14, EGFR, HDAC1, NFKB1
364	GO Molecular Functions	protein phosphatase binding	−5.584491271	MAPK14, EGFR, PIK3R1, STAT3
365	GO Biological Processes	response to UV	−5.584491271	AKT1, CASP3, EGFR, PIK3R1
366	GO Biological Processes	regulation of plasma membrane bounded cell projection organization	−5.564362497	AKT1, MTOR, FYN, LYN, PIK3CA, PIK3R1
367	GO Molecular Functions	RNA polymerase II-specific DNA-binding transcription factor binding	−5.561617477	MAPK14, ESR1, HDAC1, HIF1A, STAT3
368	GO Biological Processes	regulation of lamellipodium assembly	−5.550801664	MTOR, PIK3CA, PIK3R1
369	GO Biological Processes	regulation of nitric-oxide synthase activity	−5.550801664	AKT1, EGFR, HIF1A
370	GO Biological Processes	positive regulation of nitric oxide biosynthetic process	−5.550801664	AKT1, HSP90AB1, JAK2
371	GO Biological Processes	positive regulation of small molecule metabolic process	−5.550065144	AKT1, APP, MTOR, HIF1A
372	GO Biological Processes	positive regulation of cell projection organization	−5.549535326	MTOR, FYN, LYN, PIK3CA, PIK3R1
373	GO Biological Processes	negative regulation of neuron apoptotic process	−5.527499702	HIF1A, HSP90AB1, JAK2, PIK3CA
374	GO Biological Processes	cellular response to epidermal growth factor stimulus	−5.519576786	AKT1, EGFR, PTPN11

No.	Category	Description	LogP	Hits
375	GO Biological Processes	regulation of cell projection organization	−5.498973816	AKT1, MTOR, FYN, LYN, PIK3CA, PIK3R1
376	GO Biological Processes	positive regulation of cell cycle	−5.490172526	AKT1, APP, CDK1, EGFR, PTPN11
377	GO Biological Processes	phosphatidylinositol 3-kinase signaling	−5.489091551	AKT1, PIK3CA, PIK3R1
378	GO Biological Processes	positive regulation of nitric oxide metabolic process	−5.489091551	AKT1, HSP90AB1, JAK2
379	GO Molecular Functions	non-membrane spanning protein tyrosine kinase activity	−5.459311913	FYN, JAK2, LYN
380	GO Molecular Functions	protein serine/threonine/tyrosine kinase activity	−5.459311913	AKT1, MAPK14, MAPK3
381	GO Biological Processes	regulation of miRNA-mediated gene silencing	−5.459311913	EGFR, ESR1, STAT3
382	GO Biological Processes	regulation of binding	−5.43248626	AKT1, APP, HSP90AB1, JAK2, MAPK3
383	GO Molecular Functions	phosphotyrosine residue binding	−5.430206121	PIK3R1, MAPK3, PTPN11
384	GO Biological Processes	positive regulation of signaling receptor activity	−5.430206121	HDAC1, HIF1A, JAK2
385	KEGG Pathway	Carbohydrate digestion and absorption	−5.401744524	AKT1, PIK3CA, PIK3R1
386	GO Biological Processes	regulation of inflammatory response to antigenic stimulus	−5.401744524	MAPK14, FYN, LYN
387	GO Biological Processes	regulation of post-transcriptional gene silencing by RNA	−5.401744524	EGFR, ESR1, STAT3
388	GO Biological Processes	negative regulation of lipid transport	−5.401744524	AKT1, NFKB1, PTPN11
389	GO Biological Processes	positive regulation of nucleotide metabolic process	−5.373899384	APP, MTOR, HIF1A
390	GO Biological Processes	positive regulation of purine nucleotide metabolic process	−5.373899384	APP, MTOR, HIF1A
391	GO Biological Processes	regulation of post-transcriptional gene silencing	−5.373899384	EGFR, ESR1, STAT3
392	GO Biological Processes	regulation of MAPK cascade	−5.369760328	APP, EGFR, JAK2, LYN, MAPK3, PTPN11
393	GO Biological Processes	cellular response to vascular endothelial growth factor stimulus	−5.34664472	AKT1, MAPK14, PIK3CA
394	GO Biological Processes	positive regulation of protein dephosphorylation	−5.34664472	MTOR, HSP90AB1, JAK2
395	GO Biological Processes	regulation of protein localization to membrane	−5.336995166	AKT1, EGFR, FYN, PIK3R1
396	GO Biological Processes	ephrin receptor signaling pathway	−5.319956156	FYN, LYN, PTPN11
397	GO Biological Processes	regulation of gene silencing by RNA	−5.319956156	EGFR, ESR1, STAT3
398	GO Biological Processes	positive regulation of endopeptidase activity	−5.317104693	FYN, JAK2, LYN, STAT3
399	GO Biological Processes	pallium development	−5.317104693	CASP3, EGFR, HDAC1, HIF1A
400	GO Biological Processes	response to temperature stimulus	−5.317104693	AKT1, MTOR, HSP90AB1, LYN
401	GO Biological Processes	regulation of smooth muscle cell proliferation	−5.307247384	AKT1, HDAC1, JAK2, PIK3CA
402	GO Biological Processes	regulation of signaling receptor activity	−5.307247384	APP, HDAC1, HIF1A, JAK2
403	GO Biological Processes	regulation of protein serine/threonine kinase activity	−5.30569614	AKT1, CASP3, EGFR, HSP90AB1, LYN
404	GO Biological Processes	negative regulation of cell differentiation	−5.285062466	APP, EGFR, LYN, PIK3R1, PTPN11, STAT3
405	GO Biological Processes	positive regulation of organ growth	−5.268187119	AKT1, CDK1, MAPK14
406	GO Biological Processes	growth	−5.242557031	APP, ESR1, MTOR, HSP90AB1, PTPN11
407	GO Biological Processes	developmental growth	−5.242557031	APP, ESR1, MTOR, HSP90AB1, PTPN11
408	GO Biological Processes	regulation of cell cycle process	−5.226855647	AKT1, APP, CDK1, MAPK14, EGFR, PTPN11
409	GO Biological Processes	negative regulation of inflammatory response	−5.221052096	MAPK14, FYN, LYN, NFKB1
410	KEGG Pathway	NOD-like receptor signaling pathway	−5.221052096	MAPK14, HSP90AB1, NFKB1, MAPK3
411	GO Biological Processes	stem cell differentiation	−5.221052096	MAPK14, ESR1, HIF1A, MAPK3
412	GO Biological Processes	regulation of lamellipodium organization	−5.218424834	MTOR, PIK3CA, PIK3R1
413	GO Biological Processes	positive regulation of cyclin-dependent protein kinase activity	−5.218424834	AKT1, EGFR, HSP90AB1
414	GO Biological Processes	peptidyl-serine phosphorylation	−5.211743589	AKT1, CDK1, MAPK14, MTOR
415	GO Biological Processes	negative regulation of oxidative stress-induced cell death	−5.19424907	AKT1, FYN, HIF1A
416	GO Biological Processes	positive regulation of cellular catabolic process	−5.176305649	AKT1, APP, MTOR, HIF1A, MAPK3
417	GO Biological Processes	regulation of protein kinase B signaling	−5.175020017	EGFR, MTOR, HSP90AB1, PIK3CA
418	GO Biological Processes	positive regulation of miRNA metabolic process	−5.170520494	HIF1A, NFKB1, STAT3
419	GO Biological Processes	response to carbohydrate	−5.156956912	CASP3, HIF1A, LYN, PIK3CA
420	KEGG Pathway	Regulation of lipolysis in adipocytes	−5.147222978	AKT1, PIK3CA, PIK3R1
421	GO Biological Processes	cell activation involved in immune response	−5.13022388	APP, MTOR, LYN, STAT3
422	GO Molecular Functions	protein phosphorylated amino acid binding	−5.124341255	PIK3R1, MAPK3, PTPN11
423	GO Biological Processes	cellular response to metal ion	−5.103912874	AKT1, APP, EGFR, MAPK3
424	GO Biological Processes	ameboidal-type cell migration	−5.103912874	AKT1, HIF1A, PIK3CA, PTPN11
425	GO Biological Processes	positive regulation of protein localization to plasma membrane	−5.10186085	AKT1, EGFR, PIK3R1
426	GO Biological Processes	regulation of phosphoprotein phosphatase activity	−5.10186085	MTOR, HSP90AB1, JAK2
427	GO Biological Processes	regulation of stress-activated protein kinase signaling cascade	−5.095234082	APP, EGFR, LYN, MAPK3
428	GO Biological Processes	response to axon injury	−5.079768035	CDK1, JAK2, LYN
429	GO Cellular Components	euchromatin	−5.079768035	ESR1, HIF1A, JAK2
430	GO Biological Processes	regulation of protein binding	−5.078011037	AKT1, APP, HSP90AB1, MAPK3
431	GO Biological Processes	peptidyl-serine modification	−5.044090601	AKT1, CDK1, MAPK14, MTOR
432	GO Biological Processes	insulin receptor signaling pathway	−5.036693674	AKT1, PIK3CA, PIK3R1

No.	Category	Description	LogP	Hits
433	GO Biological Processes	regulation of nitric oxide biosynthetic process	−5.036693674	AKT1, HSP90AB1, JAK2
434	GO Biological Processes	immune effector process	−5.021923564	APP, MTOR, FYN, LYN, STAT3
435	GO Biological Processes	positive regulation of interleukin-1 beta production	−5.015687954	APP, JAK2, STAT3
436	GO Biological Processes	regulation of nervous system development	−5.003431986	AKT1, MTOR, HDAC1, HIF1A, LYN
437	GO Biological Processes	positive regulation of dephosphorylation	−4.995021393	MTOR, HSP90AB1, JAK2
438	GO Biological Processes	regulation of multicellular organism growth	−4.974683304	APP, PIK3CA, STAT3
439	GO Biological Processes	regulation of nitric oxide metabolic process	−4.974683304	AKT1, HSP90AB1, JAK2
440	GO Biological Processes	negative regulation of lipid localization	−4.974683304	AKT1, NFKB1, PTPN11
441	GO Biological Processes	positive regulation of response to external stimulus	−4.966951761	APP, FYN, JAK2, LYN, MAPK3
442	GO Biological Processes	positive regulation of tyrosine phosphorylation of STAT protein	−4.934952243	FYN, JAK2, LYN
443	GO Biological Processes	positive regulation of protein localization to cell periphery	−4.934952243	AKT1, EGFR, PIK3R1
444	KEGG Pathway	Regulation of actin cytoskeleton	−4.930541491	EGFR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
445	GO Molecular Functions	protein kinase regulator activity	−4.930541491	CASP3, EGFR, HSP90AB1, PIK3CA
446	GO Biological Processes	connective tissue development	−4.914936319	MAPK14, HIF1A, PIK3CA, MAPK3
447	GO Molecular Functions	DNA-binding transcription factor binding	−4.913445892	MAPK14, ESR1, HDAC1, HIF1A, STAT3
448	GO Biological Processes	peptidyl-threonine phosphorylation	−4.896418685	AKT1, CDK1, MTOR
449	GO Biological Processes	positive regulation of gliogenesis	−4.896418685	MTOR, HDAC1, LYN
450	GO Biological Processes	positive regulation of ERK1 and ERK2 cascade	−4.891800683	APP, EGFR, MAPK3, PTPN11
451	GO Biological Processes	positive regulation of epithelial cell proliferation	−4.884160059	AKT1, EGFR, HIF1A, STAT3
452	GO Biological Processes	response to activity	−4.877579024	CDK1, HIF1A, PIK3CA
453	KEGG Pathway	Adherens junction	−4.859013164	EGFR, FYN, MAPK3
454	GO Biological Processes	cellular response to inorganic substance	−4.853945402	AKT1, APP, EGFR, MAPK3
455	GO Biological Processes	response to extracellular stimulus	−4.835776875	AKT1, MAPK14, MTOR, LYN, MAPK3
456	GO Biological Processes	positive regulation of neurogenesis	−4.831641092	MTOR, HDAC1, HIF1A, LYN
457	GO Biological Processes	positive regulation of MAPK cascade	−4.827330461	APP, EGFR, JAK2, MAPK3, PTPN11
458	GO Biological Processes	stress-activated MAPK cascade	−4.804882292	MAPK14, NFKB1, MAPK3
459	GO Biological Processes	regulation of miRNA metabolic process	−4.804882292	HIF1A, NFKB1, STAT3
460	GO Biological Processes	positive regulation of interleukin-1 production	−4.804882292	APP, JAK2, STAT3
461	GO Biological Processes	muscle structure development	−4.798046532	AKT1, CASP3, CDK1, MAPK14, MTOR
462	GO Cellular Components	cell-cell junction	−4.789758108	AKT1, APP, LYN, PIK3CA, PIK3R1
463	GO Biological Processes	positive regulation of transmembrane transport	−4.787915562	AKT1, MAPK14, PIK3R1, PTPN11
464	GO Biological Processes	regulation of glial cell differentiation	−4.770029941	CDK1, MTOR, HDAC1
465	GO Biological Processes	regulation of cytokine production involved in inflammatory response	−4.752954509	MAPK14, HIF1A, STAT3
466	GO Biological Processes	regulation of cell development	−4.744778454	AKT1, MTOR, HDAC1, HIF1A, LYN
467	GO Biological Processes	regulation of mitotic cell cycle	−4.740739379	AKT1, APP, CDK1, EGFR, PTPN11
468	GO Biological Processes	stress-activated protein kinase signaling cascade	−4.736104742	MAPK14, NFKB1, MAPK3
469	GO Biological Processes	peptidyl-threonine modification	−4.736104742	AKT1, CDK1, MTOR
470	GO Biological Processes	oligodendrocyte differentiation	−4.736104742	MTOR, HDAC1, LYN
471	GO Biological Processes	response to osmotic stress	−4.736104742	CASP3, MTOR, HSP90AB1
472	GO Biological Processes	positive regulation of catabolic process	−4.732685766	AKT1, APP, MTOR, HIF1A, MAPK3
473	GO Biological Processes	phosphatidylinositol-mediated signaling	−4.703059127	AKT1, PIK3CA, PIK3R1
474	GO Biological Processes	cellular response to amino acid stimulus	−4.703059127	EGFR, MTOR, FYN
475	GO Biological Processes	regulation of oxidative stress-induced cell death	−4.703059127	AKT1, FYN, HIF1A
476	GO Biological Processes	regulation of protein modification by small protein conjugation or removal	−4.683417268	AKT1, FYN, HIF1A, HSP90AB1
477	GO Biological Processes	regulation of tyrosine phosphorylation of STAT protein	−4.670849093	FYN, JAK2, LYN
478	GO Biological Processes	telencephalon development	−4.663290224	CASP3, EGFR, HDAC1, HIF1A
479	GO Biological Processes	cellular chemical homeostasis	−4.661636742	APP, HIF1A, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
480	GO Biological Processes	inositol lipid-mediated signaling	−4.639433862	AKT1, PIK3CA, PIK3R1
481	GO Biological Processes	regulation of phosphatase activity	−4.639433862	MTOR, HSP90AB1, JAK2
482	GO Cellular Components	receptor complex	−4.63468005	APP, EGFR, HSP90AB1, JAK2, LYN
483	GO Biological Processes	positive regulation of cell cycle process	−4.630283105	AKT1, APP, CDK1, EGFR
484	GO Biological Processes	regulation of canonical Wnt signaling pathway	−4.630283105	MAPK14, EGFR, HDAC1, NFKB1
485	GO Molecular Functions	signaling adaptor activity	−4.608775571	PIK3R1, PTPN11, STAT3
486	GO Biological Processes	embryonic placenta development	−4.608775571	AKT1, EGFR, HIF1A
487	KEGG Pathway	Gap junction	−4.578838997	CDK1, EGFR, MAPK3
488	GO Biological Processes	regulation of leukocyte proliferation	−4.572492135	CASP3, JAK2, LYN, MAPK3
489	GO Biological Processes	sensory organ morphogenesis	−4.566194801	HDAC1, HIF1A, MAPK3, STAT3
490	GO Molecular Functions	enzyme activator activity	−4.555947887	APP, CASP3, EGFR, FYN, PIK3CA
491	GO Cellular Components	cell body	−4.555947887	APP, CASP3, FYN, HDAC1, HSP90AB1
492	GO Biological Processes	negative regulation of defense response	−4.553672253	MAPK14, FYN, LYN, NFKB1
493	GO Biological Processes	feeding behavior	−4.53521617	APP, FYN, STAT3
494	GO Biological Processes	neuron apoptotic process	−4.521001917	APP, CASP3, HIF1A
495	GO Biological Processes	positive regulation of nervous system development	−4.510582264	MTOR, HDAC1, HIF1A, LYN
496	KEGG Pathway	GnRH signaling pathway	−4.506945045	MAPK14, EGFR, MAPK3
497	GO Biological Processes	erythrocyte differentiation	−4.493042151	CASP3, JAK2, LYN
498	GO Biological Processes	regulation of protein dephosphorylation	−4.493042151	MTOR, HSP90AB1, JAK2
499	GO Biological Processes	ossification	−4.48645947	AKT1, MAPK14, EGFR, HIF1A
500	GO Biological Processes	response to steroid hormone	−4.48645947	CASP3, ESR1, JAK2, PIK3CA

No.	Category	Description	LogP	Hits
501	GO Biological Processes	regulation of cellular response to oxidative stress	−4.47928994	AKT1, FYN, HIF1A
502	KEGG Pathway	Inflammatory mediator regulation of TRP channels	−4.438906001	MAPK14, PIK3CA, PIK3R1
503	GO Cellular Components	extrinsic component of cytoplasmic side of plasma membrane	−4.425725605	AKT1, FYN, LYN
504	GO Biological Processes	epithelial cell migration	−4.425725605	AKT1, PIK3CA, PTPN11
505	GO Biological Processes	positive regulation of interleukin-6 production	−4.425725605	APP, PTPN11, STAT3
506	GO Biological Processes	response to decreased oxygen levels	−4.404729449	AKT1, CASP3, MTOR, HIF1A
507	GO Biological Processes	negative regulation of intrinsic apoptotic signaling pathway	−4.39976917	AKT1, HDAC1, HIF1A
508	GO Biological Processes	T cell activation	−4.399045356	MTOR, FYN, PIK3R1, STAT3
509	GO Molecular Functions	ubiquitin protein ligase binding	−4.393381025	EGFR, HIF1A, HSP90AB1, LYN
510	GO Biological Processes	DNA damage checkpoint signaling	−4.386987757	CDK1, MAPK14, PTPN11
511	GO Biological Processes	epithelium migration	−4.386987757	AKT1, PIK3CA, PTPN11
512	GO Biological Processes	neuron death	−4.386987757	APP, CASP3, HIF1A
513	GO Biological Processes	cellular response to interleukin-1	−4.386987757	HIF1A, NFKB1, MAPK3
514	GO Biological Processes	erythrocyte homeostasis	−4.374334095	CASP3, JAK2, LYN
515	GO Biological Processes	regulation of organ growth	−4.374334095	AKT1, CDK1, MAPK14
516	GO Biological Processes	positive regulation of myeloid cell differentiation	−4.374334095	MAPK14, HIF1A, STAT3
517	GO Biological Processes	regulation of protein localization to plasma membrane	−4.374334095	AKT1, EGFR, PIK3R1
518	GO Biological Processes	gland morphogenesis	−4.374334095	EGFR, ESR1, NFKB1
519	GO Cellular Components	postsynapse	−4.366875902	AKT1, APP, FYN, JAK2, LYN
520	GO Biological Processes	regulation of response to oxidative stress	−4.361805693	AKT1, FYN, HIF1A
521	GO Biological Processes	positive regulation of cell development	−4.348762212	MTOR, HDAC1, HIF1A, LYN
522	GO Biological Processes	response to hydrogen peroxide	−4.33711505	CASP3, CDK1, FYN
523	GO Biological Processes	regulation of gliogenesis	−4.324948173	MTOR, HDAC1, LYN
524	GO Biological Processes	adaptive immune response	−4.317443373	MTOR, FYN, JAK2, LYN, STAT3
525	GO Biological Processes	tissue migration	−4.312897278	AKT1, PIK3CA, PTPN11
526	GO Biological Processes	negative regulation of small molecule metabolic process	−4.312897278	AKT1, NFKB1, STAT3
527	GO Molecular Functions	transcription coregulator binding	−4.300960207	ESR1, HDAC1, HIF1A
528	GO Biological Processes	cellular homeostasis	−4.294797319	APP, HIF1A, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
529	GO Molecular Functions	ubiquitin-like protein ligase binding	−4.289344942	EGFR, HIF1A, HSP90AB1, LYN
530	GO Biological Processes	glial cell development	−4.28913486	AKT1, APP, LYN
531	GO Biological Processes	DNA integrity checkpoint signaling	−4.28913486	CDK1, MAPK14, PTPN11
532	GO Biological Processes	heart process	−4.28913486	MTOR, FYN, PIK3CA
533	GO Biological Processes	cellular response to external stimulus	−4.278771671	MTOR, LYN, NFKB1, MAPK3
534	GO Biological Processes	positive regulation of plasma membrane bounded cell projection assembly	−4.277419197	MTOR, PIK3CA, PIK3R1
535	GO Biological Processes	negative regulation of protein catabolic process	−4.277419197	EGFR, FYN, HSP90AB1
536	GO Biological Processes	regulation of interleukin-1 beta production	−4.277419197	APP, JAK2, STAT3
537	GO Biological Processes	mononuclear cell differentiation	−4.27351078	MTOR, LYN, PIK3R1, STAT3
538	GO Cellular Components	secretory granule lumen	−4.268266909	APP, MAPK14, HSP90AB1, NFKB1
539	GO Biological Processes	cellular glucose homeostasis	−4.265811232	HIF1A, PIK3CA, PIK3R1
540	GO Biological Processes	glucose metabolic process	−4.254309033	AKT1, MAPK14, PIK3CA
541	GO Biological Processes	angiogenesis	−4.252636362	AKT1, MAPK14, HIF1A, PIK3CA
542	GO Cellular Components	cytoplasmic vesicle lumen	−4.252636362	APP, MAPK14, HSP90AB1, NFKB1
543	GO Biological Processes	response to oxygen levels	−4.252636362	AKT1, CASP3, MTOR, HIF1A
544	GO Biological Processes	camera-type eye development	−4.232027594	EGFR, HDAC1, HIF1A, STAT3
545	GO Biological Processes	positive regulation of endothelial cell proliferation	−4.231614461	AKT1, HIF1A, STAT3
546	KEGG Pathway	Serotonergic synapse	−4.231614461	APP, CASP3, MAPK3
547	GO Biological Processes	protein import into nucleus	−4.231614461	AKT1, PIK3R1, STAT3
548	GO Biological Processes	regulation of cyclin-dependent protein serine/threonine kinase activity	−4.20932102	AKT1, CASP3, EGFR
549	GO Biological Processes	wound healing	−4.206630399	CASP3, MAPK14, HIF1A, PIK3CA
550	GO Biological Processes	cardiocyte differentiation	−4.198320411	CDK1, MTOR, MAPK3
551	GO Biological Processes	import into nucleus	−4.187414996	AKT1, PIK3R1, STAT3
552	GO Biological Processes	positive regulation of protein kinase B signaling	−4.176603168	EGFR, HSP90AB1, PIK3CA
553	GO Biological Processes	regulation of myeloid leukocyte differentiation	−4.155254047	MTOR, LYN, PIK3R1
554	GO Biological Processes	negative regulation of protein serine/threonine kinase activity	−4.155254047	AKT1, CASP3, LYN
555	GO Biological Processes	positive regulation of hormone secretion	−4.144713737	HIF1A, JAK2, PTPN11
556	GO Biological Processes	regulation of lipid metabolic process	−4.14240793	AKT1, MTOR, LYN, NFKB1
557	GO Molecular Functions	heat shock protein binding	−4.134260977	CDK1, HIF1A, HSP90AB1
558	GO Biological Processes	regulation of protein localization to cell periphery	−4.12389435	AKT1, EGFR, PIK3R1
559	GO Biological Processes	regulation of mitotic cell cycle phase transition	−4.108857799	AKT1, APP, CDK1, EGFR

No.	Category	Description	LogP	Hits
560	GO Biological Processes	developmental growth involved in morphogenesis	−4.103413988	APP, ESR1, HSP90AB1
561	GO Biological Processes	axonogenesis	−4.09469053	APP, FYN, HSP90AB1, PTPN11
562	GO Molecular Functions	transmembrane transporter binding	−4.093297584	FYN, HSP90AB1, LYN
563	GO Biological Processes	hormone-mediated signaling pathway	−4.093297584	ESR1, JAK2, PTPN11
564	GO Molecular Functions	histone deacetylase binding	−4.093297584	HDAC1, HIF1A, HSP90AB1
565	GO Biological Processes	protein localization to organelle	−4.087576727	AKT1, CDK1, ESR1, PIK3R1, STAT3
566	GO Biological Processes	regulation of response to biotic stimulus	−4.075992955	FYN, LYN, MAPK3, PTPN11
567	GO Biological Processes	regulation of protein catabolic process	−4.075992955	AKT1, EGFR, FYN, HSP90AB1
568	GO Biological Processes	myeloid cell homeostasis	−4.073305893	CASP3, JAK2, LYN
569	GO Biological Processes	regulation of interleukin-1 production	−4.073305893	APP, JAK2, STAT3
570	GO Biological Processes	response to virus	−4.071352359	MAPK14, HIF1A, JAK2, NFKB1
571	KEGG Pathway	Oocyte meiosis	−4.063428119	CDK1, MAPK14, MAPK3
572	GO Biological Processes	myeloid leukocyte differentiation	−4.063428119	APP, MAPK14, PIK3R1
573	GO Biological Processes	signal transduction in response to DNA damage	−4.05362745	CDK1, MAPK14, PTPN11
574	GO Biological Processes	regulation of dephosphorylation	−4.043902712	MTOR, HSP90AB1, JAK2
575	GO Biological Processes	regulation of apoptotic signaling pathway	−4.016687297	AKT1, HDAC1, HIF1A, JAK2
576	GO Biological Processes	negative regulation of cell cycle	−4.007754974	CASP3, CDK1, MAPK14, PTPN11
577	GO Biological Processes	regulation of neurogenesis	−4.003307428	MTOR, HDAC1, HIF1A, LYN
578	GO Biological Processes	eye development	−4.003307428	EGFR, HDAC1, HIF1A, STAT3
579	KEGG Pathway	Apelin signaling pathway	−3.987086424	AKT1, MTOR, MAPK3
580	GO Biological Processes	negative regulation of phosphorylation	−3.985639816	AKT1, CASP3, LYN, STAT3
581	GO Biological Processes	visual system development	−3.985639816	EGFR, HDAC1, HIF1A, STAT3
582	GO Biological Processes	regulation of supramolecular fiber organization	−3.972516008	APP, MTOR, PIK3CA, PIK3R1
583	GO Biological Processes	response to glucocorticoid	−3.959616028	CASP3, JAK2, PIK3CA
584	GO Biological Processes	sensory system development	−3.959499083	EGFR, HDAC1, HIF1A, STAT3
585	GO Biological Processes	cellular response to decreased oxygen levels	−3.932735628	AKT1, MTOR, HIF1A
586	GO Biological Processes	intracellular receptor signaling pathway	−3.923902355	ESR1, JAK2, STAT3
587	GO Biological Processes	myeloid leukocyte activation	−3.923902355	APP, JAK2, LYN
588	GO Biological Processes	cellular response to insulin stimulus	−3.906420889	AKT1, PIK3CA, PIK3R1
589	GO Biological Processes	positive regulation of leukocyte migration	−3.906420889	APP, PIK3R1, MAPK3
590	GO Biological Processes	regulation of insulin secretion	−3.897771021	HIF1A, JAK2, PTPN11
591	GO Biological Processes	regulation of reactive oxygen species metabolic process	−3.897771021	MAPK14, FYN, HIF1A
592	KEGG Pathway	Adrenergic signaling in cardiomyocytes	−3.88918064	AKT1, MAPK14, MAPK3
593	GO Biological Processes	learning	−3.88918064	APP, FYN, HIF1A
594	GO Biological Processes	response to glucose	−3.880648952	CASP3, HIF1A, PIK3CA
595	GO Biological Processes	negative regulation of cell population proliferation	−3.866797508	APP, CASP3, JAK2, LYN, STAT3
596	GO Biological Processes	cell cycle checkpoint signaling	−3.863758546	CDK1, MAPK14, PTPN11
597	GO Biological Processes	hexose metabolic process	−3.855398314	AKT1, MAPK14, PIK3CA
598	GO Biological Processes	positive regulation of lipid metabolic process	−3.855398314	AKT1, MTOR, LYN
599	GO Biological Processes	negative regulation of catalytic activity	−3.851419774	AKT1, APP, CASP3, LYN, NFKB1
600	GO Biological Processes	regulation of cellular carbohydrate metabolic process	−3.847093746	AKT1, MTOR, STAT3
601	GO Biological Processes	biological process involved in interaction with host	−3.847093746	CDK1, EGFR, HSP90AB1
602	GO Biological Processes	regulation of lipid transport	−3.847093746	AKT1, NFKB1, PTPN11
603	GO Biological Processes	regulation of epithelial cell proliferation	−3.846895193	AKT1, EGFR, HIF1A, STAT3
604	GO Biological Processes	response to hexose	−3.838844119	CASP3, HIF1A, PIK3CA
605	GO Biological Processes	response to xenobiotic stimulus	−3.830871007	CASP3, CDK1, HSP90AB1, LYN
606	GO Biological Processes	blood vessel morphogenesis	−3.818958209	AKT1, MAPK14, HIF1A, PIK3CA
607	GO Cellular Components	cell leading edge	−3.818958209	AKT1, APP, EGFR, PIK3CA
608	KEGG Pathway	Necroptosis	−3.814417894	HSP90AB1, JAK2, STAT3
609	GO Biological Processes	intrinsic apoptotic signaling pathway	−3.814417894	CASP3, JAK2, PIK3R1
610	GO Cellular Components	spindle	−3.799300393	AKT1, APP, CDK1, MAPK14
611	GO Biological Processes	cellular response to oxygen levels	−3.798395852	AKT1, MTOR, HIF1A
612	GO Biological Processes	cell morphogenesis involved in neuron differentiation	−3.791505082	APP, FYN, HSP90AB1, PTPN11
613	GO Biological Processes	response to monosaccharide	−3.774742982	CASP3, HIF1A, PIK3CA
614	GO Biological Processes	negative regulation of binding	−3.774742982	AKT1, JAK2, MAPK3
615	GO Biological Processes	negative regulation of response to external stimulus	−3.772183189	MAPK14, FYN, LYN, NFKB1
616	GO Biological Processes	cartilage development	−3.76695759	MAPK14, HIF1A, MAPK3
617	GO Biological Processes	response to corticosteroid	−3.76695759	CASP3, JAK2, PIK3CA
618	GO Biological Processes	positive regulation of leukocyte proliferation	−3.751531556	JAK2, LYN, MAPK3

No.	Category	Description	LogP	Hits
619	GO Biological Processes	positive regulation of cell growth	−3.751531556	AKT1, EGFR, MTOR
620	GO Biological Processes	negative regulation of phosphate metabolic process	−3.745523306	AKT1, CASP3, LYN, STAT3
621	GO Biological Processes	positive regulation of developmental growth	−3.743889754	AKT1, CDK1, MAPK14
622	GO Biological Processes	T cell differentiation	−3.743889754	MTOR, PIK3R1, STAT3
623	GO Biological Processes	negative regulation of phosphorus metabolic process	−3.74175123	AKT1, CASP3, LYN, STAT3
624	GO Biological Processes	embryonic organ development	−3.723024969	AKT1, EGFR, HIF1A, MAPK3
625	GO Cellular Components	extrinsic component of plasma membrane	−3.713784254	AKT1, FYN, LYN
626	GO Biological Processes	regulation of intrinsic apoptotic signaling pathway	−3.713784254	AKT1, HDAC1, HIF1A
627	GO Cellular Components	cytoplasmic side of plasma membrane	−3.706370606	AKT1, FYN, LYN
628	GO Biological Processes	monosaccharide metabolic process	−3.699001001	AKT1, MAPK14, PIK3CA
629	GO Biological Processes	morphogenesis of an epithelium	−3.697176481	CASP3, EGFR, ESR1, HIF1A
630	GO Biological Processes	positive regulation of epithelial cell migration	−3.684391899	AKT1, MTOR, HIF1A
631	GO Biological Processes	regulation of interleukin-6 production	−3.684391899	APP, PTPN11, STAT3
632	GO Biological Processes	viral life cycle	−3.677151412	CDK1, EGFR, HSP90AB1
633	GO Biological Processes	positive regulation of binding	−3.677151412	APP, HSP90AB1, JAK2
634	GO Biological Processes	lymphocyte activation	−3.675353577	MTOR, FYN, PIK3R1, STAT3
635	GO Biological Processes	regulation of peptide hormone secretion	−3.662796157	HIF1A, JAK2, PTPN11
636	GO Biological Processes	response to nutrient levels	−3.657396464	AKT1, MAPK14, MTOR, MAPK3
637	GO Molecular Functions	DNA-binding transcription activator activity, RNA polymerase II-specific	−3.643177204	ESR1, HIF1A, NFKB1, STAT3
638	GO Biological Processes	regulation of peptide secretion	−3.641570578	HIF1A, JAK2, PTPN11
639	GO Biological Processes	regulation of lipid biosynthetic process	−3.641570578	AKT1, MTOR, NFKB1
640	GO Biological Processes	neuron projection morphogenesis	−3.639642436	APP, FYN, HSP90AB1, PTPN11
641	GO Biological Processes	regulation of endothelial cell proliferation	−3.634575522	AKT1, HIF1A, STAT3
642	GO Molecular Functions	DNA-binding transcription activator activity	−3.629085697	ESR1, HIF1A, NFKB1, STAT3
643	GO Biological Processes	regulation of peptide transport	−3.627619802	HIF1A, JAK2, PTPN11
644	GO Biological Processes	plasma membrane bounded cell projection morphogenesis	−3.622087173	APP, FYN, HSP90AB1, PTPN11
645	GO Biological Processes	regulation of lipid localization	−3.62070299	AKT1, NFKB1, PTPN11
646	GO Biological Processes	cell projection morphogenesis	−3.604726492	APP, FYN, HSP90AB1, PTPN11
647	GO Biological Processes	negative regulation of immune response	−3.586688008	MAPK14, FYN, LYN
648	GO Biological Processes	leukocyte activation involved in immune response	−3.586688008	MTOR, LYN, STAT3
649	GO Cellular Components	nuclear envelope	−3.573954754	APP, EGFR, MTOR, MAPK3
650	GO Biological Processes	protein localization to nucleus	−3.573340115	AKT1, PIK3R1, STAT3
651	GO Biological Processes	regulation of stress-activated MAPK cascade	−3.553585232	APP, EGFR, MAPK3
652	GO Cellular Components	neuronal cell body	−3.543777771	APP, CASP3, HDAC1, HSP90AB1
653	GO Biological Processes	positive regulation of cellular component biogenesis	−3.540460545	ESR1, MTOR, PIK3CA, PIK3R1
654	GO Biological Processes	cell part morphogenesis	−3.540460545	APP, FYN, HSP90AB1, PTPN11
655	GO Biological Processes	regulation of plasma membrane bounded cell projection assembly	−3.527728477	MTOR, PIK3CA, PIK3R1
656	GO Biological Processes	regulation of cell projection assembly	−3.515000881	MTOR, PIK3CA, PIK3R1
657	GO Biological Processes	blood vessel development	−3.510919344	AKT1, MAPK14, HIF1A, PIK3CA
658	GO Biological Processes	negative regulation of cell-cell adhesion	−3.508686107	AKT1, CASP3, JAK2
659	GO Cellular Components	transcription regulator complex	−3.504430133	ESR1, HDAC1, HIF1A, STAT3
660	GO Cellular Components	lamellipodium	−3.502403584	AKT1, APP, PIK3CA
661	GO Biological Processes	skeletal system development	−3.497967908	MAPK14, HIF1A, MAPK3, PTPN11
662	GO Cellular Components	cytoplasmic side of membrane	−3.496152993	AKT1, FYN, LYN
663	GO Biological Processes	response to ketone	−3.496152993	AKT1, JAK2, PIK3CA
664	GO Biological Processes	antigen receptor-mediated signaling pathway	−3.483746354	FYN, LYN, PIK3CA
665	GO Biological Processes	transmembrane receptor protein serine/threonine kinase signaling pathway	−3.477589694	MAPK14, MAPK3, STAT3
666	GO Biological Processes	negative regulation of protein modification process	−3.472384681	AKT1, CASP3, FYN, LYN
667	GO Biological Processes	regulation of synapse organization	−3.465368187	APP, MAPK14, FYN
668	GO Biological Processes	regulation of protein ubiquitination	−3.459302753	AKT1, FYN, HSP90AB1
669	GO Biological Processes	vasculature development	−3.444099337	AKT1, MAPK14, HIF1A, PIK3CA
670	GO Biological Processes	regulation of synapse structure or activity	−3.429417403	APP, MAPK14, FYN
671	GO Biological Processes	negative regulation of protein kinase activity	−3.423526768	AKT1, CASP3, LYN
672	GO Biological Processes	regulation of cytoskeleton organization	−3.410216277	MTOR, PIK3CA, PIK3R1, MAPK3
673	GO Biological Processes	regulation of cellular amide metabolic process	−3.374082112	AKT1, APP, CASP3, MTOR
674	GO Molecular Functions	cell adhesion molecule binding	−3.353388935	EGFR, HSP90AB1, LYN, PTPN11
675	GO Biological Processes	positive regulation of protein serine/threonine kinase activity	−3.349422184	AKT1, EGFR, HSP90AB1
676	GO Biological Processes	tissue morphogenesis	−3.332970719	CASP3, EGFR, ESR1, HIF1A
677	GO Biological Processes	regulation of secretion by cell	−3.330075877	HIF1A, JAK2, LYN, PTPN11
678	GO Biological Processes	negative regulation of apoptotic signaling pathway	−3.327496504	AKT1, HDAC1, HIF1A

No.	Category	Description	LogP	Hits
679	GO Biological Processes	regulation of hormone secretion	−3.32207613	HIF1A, JAK2, PTPN11
680	GO Biological Processes	regulation of cysteine-type endopeptidase activity	−3.316679756	AKT1, FYN, JAK2
681	GO Biological Processes	phagocytosis	−3.311307176	FYN, LYN, PIK3CA
682	GO Biological Processes	positive regulation of immune response	−3.307111854	FYN, JAK2, LYN, PIK3CA
683	GO Biological Processes	regulation of lymphocyte proliferation	−3.295330199	CASP3, JAK2, LYN
684	GO Biological Processes	negative regulation of cell cycle phase transition	−3.295330199	CDK1, MAPK14, PTPN11
685	GO Biological Processes	regulation of innate immune response	−3.290050804	FYN, LYN, PTPN11
686	GO Biological Processes	negative regulation of kinase activity	−3.290050804	AKT1, CASP3, LYN
687	GO Biological Processes	embryonic morphogenesis	−3.28448718	CASP3, HDAC1, HIF1A, MAPK3
688	GO Biological Processes	viral process	−3.279560252	CDK1, EGFR, HSP90AB1
689	GO Biological Processes	regulation of mononuclear cell proliferation	−3.274348719	CASP3, JAK2, LYN
690	GO Biological Processes	nucleocytoplasmic transport	−3.258846876	AKT1, PIK3R1, STAT3
691	GO Biological Processes	nuclear transport	−3.258846876	AKT1, PIK3R1, STAT3
692	GO Biological Processes	leukocyte migration	−3.253723246	FYN, LYN, PIK3R1
693	GO Biological Processes	cellular component morphogenesis	−3.251166236	APP, FYN, HSP90AB1, PTPN11
694	GO Biological Processes	cell fate commitment	−3.238480841	CASP3, MTOR, STAT3
695	GO Biological Processes	response to alcohol	−3.228424595	AKT1, CDK1, FYN
696	GO Biological Processes	cellular response to extracellular stimulus	−3.218451074	MTOR, LYN, MAPK3
697	GO Biological Processes	regulation of I-kappaB kinase/NF-kappaB signaling	−3.213494927	ESR1, FYN, HDAC1
698	GO Biological Processes	regulation of protein secretion	−3.203643059	HIF1A, JAK2, PTPN11
699	GO Biological Processes	positive regulation of cell death	−3.197201754	CASP3, FYN, JAK2, LYN
700	GO Biological Processes	immune response-activating cell surface receptor signaling pathway	−3.179358629	FYN, LYN, PIK3CA
701	GO Biological Processes	immune response-activating signal transduction	−3.179358629	FYN, LYN, PIK3CA
702	GO Cellular Components	dendrite	−3.178758296	APP, MTOR, FYN, HSP90AB1
703	GO Biological Processes	skin development	−3.174559717	CASP3, EGFR, HDAC1
704	GO Biological Processes	regulation of secretion	−3.173529711	HIF1A, JAK2, LYN, PTPN11
705	GO Cellular Components	dendritic tree	−3.173529711	APP, MTOR, FYN, HSP90AB1
706	GO Molecular Functions	cytokine receptor binding	−3.127591272	CASP3, JAK2, PIK3R1
707	GO Biological Processes	chordate embryonic development	−3.122214977	AKT1, CASP3, EGFR, HIF1A
708	GO Biological Processes	lymphocyte differentiation	−3.113850219	MTOR, PIK3R1, STAT3
709	GO Biological Processes	negative regulation of transferase activity	−3.113850219	AKT1, CASP3, LYN
710	GO Biological Processes	regulation of actin filament organization	−3.104775871	MTOR, PIK3CA, PIK3R1
711	GO Biological Processes	positive regulation of secretion by cell	−3.104775871	HIF1A, JAK2, PTPN11
712	GO Biological Processes	sex differentiation	−3.091291399	CASP3, ESR1, PTPN11
713	GO Biological Processes	response to hypoxia	−3.077956501	CASP3, MTOR, HIF1A
714	GO Biological Processes	embryo development ending in birth or egg hatching	−3.067716739	AKT1, CASP3, EGFR, HIF1A
715	GO Biological Processes	negative regulation of cell cycle process	−3.060403867	CDK1, MAPK14, PTPN11
716	GO Biological Processes	regulation of transmembrane receptor protein serine/threonine kinase signaling pathway	−3.051722902	HDAC1, HSP90AB1, JAK2
717	GO Biological Processes	immune response-regulating cell surface receptor signaling pathway	−3.043104336	FYN, LYN, PIK3CA
718	GO Biological Processes	regulation of epithelial cell migration	−3.043104336	AKT1, MTOR, HIF1A
719	GO Cellular Components	transferase complex, transferring phosphorus-containing groups	−3.03029162	CDK1, PIK3CA, PIK3R1
720	GO Biological Processes	anatomical structure homeostasis	−3.026050998	APP, HIF1A, PTPN11
721	GO Biological Processes	reproductive structure development	−3.026050998	CASP3, ESR1, PTPN11
722	GO Biological Processes	reproductive system development	−3.009237221	CASP3, ESR1, PTPN11
723	GO Biological Processes	positive regulation of secretion	−2.992656636	HIF1A, JAK2, PTPN11
724	KEGG Pathway	Huntington disease	−2.984451869	CASP3, MTOR, HDAC1
725	GO Biological Processes	negative regulation of cellular component organization	−2.982605606	AKT1, FYN, PIK3CA, PIK3R1
726	GO Biological Processes	epidermis development	−2.968209677	CASP3, EGFR, HDAC1
727	GO Biological Processes	apoptotic signaling pathway	−2.960170811	CASP3, JAK2, PIK3R1
728	GO Cellular Components	plasma membrane protein complex	−2.955282642	CASP3, EGFR, JAK2, LYN
729	GO Biological Processes	epithelial tube morphogenesis	−2.952185827	CASP3, ESR1, HIF1A
730	GO Biological Processes	regulation of ion transport	−2.944044952	AKT1, APP, FYN, LYN
731	GO Biological Processes	regulation of leukocyte differentiation	−2.940307881	MTOR, LYN, PIK3R1
732	GO Cellular Components	glutamatergic synapse	−2.913045558	MAPK14, JAK2, LYN
733	GO Biological Processes	regulation of protein stability	−2.909201521	CASP3, HSP90AB1, PIK3R1
734	GO Biological Processes	muscle tissue development	−2.893948723	CDK1, MAPK14, MTOR
735	GO Molecular Functions	cadherin binding	−2.8788897	EGFR, HSP90AB1, PTPN11
736	GO Biological Processes	protein catabolic process	−2.878356085	AKT1, CASP3, MTOR, FYN
737	GO Biological Processes	activation of immune response	−2.864019809	FYN, LYN, PIK3CA
738	GO Biological Processes	negative regulation of protein phosphorylation	−2.86033136	AKT1, CASP3, LYN

No.	Category	Description	LogP	Hits
739	GO Biological Processes	regulation of cellular response to growth factor stimulus	−2.86033136	HDAC1, HIF1A, HSP90AB1
740	GO Biological Processes	establishment of protein localization to organelle	−2.849334574	AKT1, PIK3R1, STAT3
741	GO Cellular Components	endocytic vesicle	−2.842059846	EGFR, MTOR, LYN
742	GO Biological Processes	negative regulation of organelle organization	−2.834829674	AKT1, PIK3CA, PIK3R1
743	GO Molecular Functions	protein-macromolecule adaptor activity	−2.827643541	PIK3R1, PTPN11, STAT3
744	GO Biological Processes	negative regulation of proteolysis	−2.809867569	AKT1, APP, HSP90AB1
745	GO Biological Processes	glycerolipid metabolic process	−2.785423734	PIK3CA, PIK3R1, PTPN11
746	KEGG Pathway	Amyotrophic lateral sclerosis	−2.768269992	CASP3, MAPK14, MTOR
747	GO Biological Processes	regulation of actin cytoskeleton organization	−2.764869125	MTOR, PIK3CA, PIK3R1
748	GO Biological Processes	regulation of cellular component size	−2.758096837	MTOR, HSP90AB1, PIK3CA
749	GO Biological Processes	negative regulation of cell migration	−2.754725308	AKT1, HDAC1, STAT3
750	GO Biological Processes	multicellular organismal homeostasis	−2.741335398	PIK3CA, PTPN11, STAT3
751	GO Biological Processes	regulation of body fluid levels	−2.738011712	MAPK14, HIF1A, PIK3CA
752	GO Biological Processes	immune response-regulating signaling pathway	−2.734697441	FYN, LYN, PIK3CA
753	GO Biological Processes	negative regulation of cell motility	−2.705284465	AKT1, HDAC1, STAT3
754	GO Biological Processes	in utero embryonic development	−2.692446234	AKT1, EGFR, HIF1A
755	GO Biological Processes	regulation of cation transmembrane transport	−2.670314265	APP, FYN, LYN
756	GO Biological Processes	cellular cation homeostasis	−2.642464276	APP, HIF1A, MAPK3
757	GO Biological Processes	regulation of actin filament-based process	−2.633327528	MTOR, PIK3CA, PIK3R1
758	GO Biological Processes	regulation of protein-containing complex assembly	−2.621256215	ESR1, MTOR, PTPN11
759	GO Cellular Components	early endosome	−2.609309517	APP, EGFR, MAPK3
760	GO Cellular Components	lysosomal membrane	−2.597485029	MTOR, HSP90AB1, LYN
761	GO Cellular Components	lytic vacuole membrane	−2.597485029	MTOR, HSP90AB1, LYN
762	GO Biological Processes	negative regulation of locomotion	−2.594547728	AKT1, HDAC1, STAT3
763	GO Biological Processes	cellular ion homeostasis	−2.591617883	APP, HIF1A, MAPK3
764	GO Cellular Components	focal adhesion	−2.58578042	EGFR, JAK2, MAPK3
765	GO Biological Processes	regulation of cell growth	−2.58578042	AKT1, EGFR, MTOR
766	GO Biological Processes	regulation of metal ion transport	−2.582872731	AKT1, FYN, LYN
767	GO Biological Processes	regulation of membrane potential	−2.559871708	AKT1, APP, MTOR
768	GO Cellular Components	cell-substrate junction	−2.557028635	EGFR, JAK2, MAPK3
769	GO Biological Processes	regulation of neuron projection development	−2.517947539	AKT1, FYN, LYN
770	GO Biological Processes	modulation of chemical synaptic transmission	−2.512471725	APP, FYN, JAK2
771	GO Biological Processes	regulation of trans-synaptic signaling	−2.509743612	APP, FYN, JAK2
772	GO Cellular Components	vacuolar membrane	−2.477504427	MTOR, HSP90AB1, LYN
773	GO Biological Processes	carbohydrate metabolic process	−2.464335813	AKT1, MAPK14, PIK3CA
774	GO Biological Processes	negative regulation of transport	−2.43079445	AKT1, NFKB1, PTPN11
775	GO Biological Processes	regulation of translation	−2.41313628	AKT1, APP, MTOR
776	GO Molecular Functions	molecular adaptor activity	−2.398217012	PIK3R1, PTPN11, STAT3
777	GO Biological Processes	cation homeostasis	−2.385933099	APP, HIF1A, MAPK3
778	GO Biological Processes	circulatory system process	−2.373781572	MTOR, FYN, PIK3CA
779	GO Biological Processes	positive regulation of organelle organization	−2.359370794	MTOR, HIF1A, MAPK3
780	GO Biological Processes	regulation of anatomical structure size	−2.356986852	MTOR, HSP90AB1, PIK3CA
781	GO Biological Processes	organelle localization	−2.356986852	MTOR, HIF1A, LYN
782	GO Biological Processes	chemotaxis	−2.354607959	APP, MAPK14, FYN
783	GO Biological Processes	taxis	−2.349865237	APP, MAPK14, FYN
784	GO Biological Processes	inorganic ion homeostasis	−2.349865237	APP, HIF1A, MAPK3
785	GO Biological Processes	regulation of ion transmembrane transport	−2.331092361	APP, FYN, LYN
786	GO Biological Processes	ion homeostasis	−2.319517109	APP, HIF1A, MAPK3
787	GO Biological Processes	locomotion	−2.30806047	APP, MAPK14, FYN
788	GO Biological Processes	positive regulation of apoptotic process	−2.303510524	CASP3, JAK2, LYN
789	GO Biological Processes	positive regulation of programmed cell death	−2.269965568	CASP3, JAK2, LYN
790	GO Biological Processes	supramolecular fiber organization	−2.226759802	APP, HSP90AB1, JAK2
791	GO Biological Processes	regulation of cellular macromolecule biosynthetic process	−2.212028112	AKT1, APP, MTOR
792	GO Biological Processes	regulation of system process	−2.179078245	APP, JAK2, PTPN11
793	GO Biological Processes	chromatin organization	−2.143156466	ESR1, HDAC1, JAK2
794	GO Biological Processes	mitotic cell cycle	−2.116012976	APP, CDK1, PTPN11
795	GO Cellular Components	axon	−2.078378011	APP, HIF1A, HSP90AB1
796	GO Cellular Components	side of membrane	−2.001660852	AKT1, FYN, LYN

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-390-396

Received 17.06.2023
Accepted in revised 15.09.2023
Accepted for publication 19.09.2023
© Bakharev V. V., Mityashin G. Yu., Stepanova T. V., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Review article
Open access

FOOD SECURITY, FOOD WASTE AND FOOD SHARING: THE CONCEPTUAL ANALYSIS

Vladimir V. Bakharev, Gleb Yu. Mityashin*, Tatyana V. Stepanova

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

KEY WORDS:
food security, access to food for people in need, food waste, food sharing, platform economy

ABSTRACT

Authors emphasize that food in the modern world is becoming less accessible due to the present global economic, geopolitical and climatic situation. At the same time a large share of food produced in the world goes to waste. It means that there is a need to implement tools that could provide people with access to food and reduce amount of food waste. Food sharing, a novel tool of collaborative food consumption, can be used to solve this problem. The paper introduces the concept of distributive food sharing and describes its different types. A description of the present state of distributive food sharing in Russia. We state that the environment for development of distributive food sharing in Russia is not favorable. The main conclusion of the article is the need to create conditions for the development of the concept of food sharing to provide those in need with food and minimize waste.

Поступила 17.06.2023
Поступила после рецензирования 15.09.2023
Принята в печать 19.09.2023
© Бахарев В. В., Митяшин Г. Ю., Степанова Т. В., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Обзорная статья
Open access

ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫЕ ПОТЕРИ И ФУДШЕРИНГ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Бахарев В. В., Митяшин Г. Ю.*, Степанова Т. В.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
продовольственная безопасность, доступность продовольствия для нуждающихся, нерациональное использование продовольствия, фудшеринг, платформенная экономика, бедность

АННОТАЦИЯ

Авторы подчеркивают, что в современном мире продукты питания становятся все менее доступными в связи со сложившейся глобальной экономической, геополитической и климатической ситуацией. В то же время значительная часть производимого в мире продовольствия используется нерационально и попадает в отходы. Это означает, что существует необходимость внедрения инструментов, которые могли бы обеспечить людям доступ к продуктам питания и сократить количество пищевых отходов. Для решения этой проблемы может быть использована раздача продовольствия как новый инструмент коллаборативного потребления еды. В статье представлено понятие распределительного способа раздачи продуктов питания и описаны его различные виды. Описано современное состояние распределительного способа раздачи продуктов питания в России. Мы констатируем, что условия для развития распределительного способа раздачи продовольствия в России неблагоприятны. Основной вывод статьи — необходимо создать условий для развития концепции раздачи продовольствия для обеспечения нуждающихся слоев населения продуктами питания и для минимизации количества выбрасываемого продовольствия.

1. Introduction

Sharing economy has emerged as a social reaction to two key challenges of the modern capitalism. On the one hand, capitalist economy encourages excessive consumption that leads to waste of commodities and to unnecessary financial expenses. On the other hand, many people often have only a limited access to the food and services they need as they are not able to pay the full price. Sharing economy partial

ly alleviates these problems by promoting the responsible consumption and collaborative use of resources [1,2].

Though sharing economy initially appeared as a social tool, now it is a popular business model (Uber and Airbnb are probably the most prominent examples). Sharing-driven commercial and non-commercial projects exist in various industries including food industry (where this phenomenon is known as food sharing). In the food industry the abovementioned challenges of the capitalist economy are especially visible [3]. A substantial part of the global population does not have a stable access to food. This problem of poor food security has many reasons: gradual demise of welfare state in developed countries [4], high food prices (caused by climatic changes and geopolitical situation) [5], low level of income in developing and underdeveloped countries (in African and Asian countries the share of population that has no guaranteed access to food can be over 50% [6,7]) etc. At the same time, a significant part of food produced in the world is not consumed and goes to waste. This is why food sharing, despite its limited potential, can be an important element of the set of tools that are used to ensure food security and to eliminate food waste.

Over last two years new factors emerged that disrupted global food supply chains, led to higher food prices and to lack of food in the retail chains and further worsened the food security of people with low and no income. These factors are the COVID19 pandemic and the Russian special military operation in Ukraine [5]. Due to the coronavirus pandemic, not only existing global system of food supplies was disrupted (which resulted in escalation of food prices, food shortage and food rationing), but also many working people lost their income and faced a lack of finances to buy food [8,9]. This problem has had a particularly strong impact on citizens of the countries whose government has not developed a proper package of social aids to those who have lost their jobs due to the pandemic. The effect of the special military operation in Ukraine is even deeper:

- the sanctions imposed on Russia [10] and the battles in Ukraine [11] restricted access of food produced in these countries (grain, sunflower oil etc.) to the global market. It substantially reduced the availability of food (as Russia and Ukraine used to be important players on the food market, as their share accounted for 29% of world's wheat exports [10]) led to increase of global food prices. It had an especially severe impact on Middle East and North Africa due to this region's strong dependence on food imports [12]. However, it also has long-lasting effects for the food security of countries beyond this area [13];

FOR CITATION: **Bakharev, V. V., Mityashin, G. Yu., Stepanova, T. V.** (2023). Food security, food waste and food sharing: The conceptual analysis. *Food Systems*, 6(3), 390-396. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-390-396

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Бахарев В. В., Митяшин Г. Ю., Степанова Т. В.** (2023). Продовольственная безопасность, продовольственные потери и фудшеринг: концептуальный анализ. *Пищевые системы*, 6(3), 390-396. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-390-396

- Russian fertilizers are banned in the international market that leads to a further increase of food production costs [14];
- Russian oil and gas are forbidden in Europe. It is one of the reasons of growing costs in the whole food production chain, as oil and gas are necessary at all stages of this chain (production of fertilizers, agriculture, transportation etc) [14].

On the other hand, a significant share of the food produced in the world is not consumed but is sent to waste [15]. This is due to ineffective planning of production and marketing (when food products produced and purchased by retail chains are not sold before their date of expiration [16,17,18,19]), poor organization of transportation and improper storage, as well as overconsumption of the population (which purchases excessive food that will go to waste). This creates economic problems (lower efficiency of manufacturers and retail chains, higher disposal costs) and undesirable environmental effects (since waste creates an additional load on the environment) as well as social threats (because this food waste reduces availability of food for the people with low and no income).

The problem of providing the guaranteed access to food for all people has a long history. Traditionally, it was solved either by the state (using various non-market instruments, such as food stamps in the USA [20,21]), or by charitable organizations (which, however, due to their limited resources could not reach all those in need) [22,23,24]. However, currently, thanks to the active application of digital technologies (transition to a platform economy) [25,26,27], self-organization of economic agents [28] and changing consumers' priorities (abandoning excessive consumption in favor of responsible use of food), as well as the emergence of new ways to organize access to food [29], it is possible to create new tools to solve this problem.

It is necessary to propose a comprehensive solution that would allow the population to have access to food and at the same time reduce the amount of food waste. It should be noted that this task differs from traditional approaches to ensuring food security (which are aimed exclusively at providing the population with guaranteed access to food and do not set any other goals, for example, improving the efficiency of food use and thus minimizing negative environmental impact) [30,31,23]. Currently, one of the main directions of the modern society evolution is the concept of sharing and collaborative consumption [2,32]. For this reason, we propose to consider the prospects of using the sharing to address the issue of food availability for vulnerable groups of population.

It should be noted that although sharing is gradually gaining popularity in Russia, there are relatively few studies on it [33,34] and this studies mostly deal with general economic and social effects of sharing economy while the use of as a tool of access to food for epy people who live in food insecurity remains completely unexplored (there are only analytical reports on it [35] Our article fills an important gap, contributing to a better understanding of the market of sharing in Russia.

The article includes theoretical and analytical components. In the theoretical part, we offer a comprehensive description of the phenomenon of distributive food sharing that can be used as a partial solution for the existing imbalance between excessive food waste and insufficient food security of people with low and no income (as far as we know, there is no such description in the existing literature). In the analytical part, we will show the state of food sharing in Russia and formulate recommendations for its development.

2. Objects and methods

Considering the goals set, we used the following research methods:

1. To identify factors that worsen the availability of food for people in need (agflation and the consequences of the pandemic), we analysed statistical data (the source of which was the information collected and published by the Russian Statistical Agency (Rosstat)).

2. The comprehensive description of the phenomenon of food sharing was carried out based on a narrative review of the literature on food sharing as a tool for solving the economic, environmental and social problems. For this review, the articles in the journals indexed in Scopus and Web of Science databases were used.

3. The analysis of the level of food sharing development in Russia is based on analytical reviews [35], information published on the websites of Russian food sharing organizations and in their social media groups. In addition, we performed a search for the keyword "foodsharing" in the social network *Vkontakte* (popular in Russia), which allowed us to identify informal consumer communities which participate in food sharing in Moscow and St. Petersburg.

3. Results and discussion

3.1. Food sharing: basic models

Food sharing is a complex social phenomenon that encompasses various practices in the field of collaborative production, purchasing, cooking and consumption food. Similar practices have always existed in various societies but generally food sharing took place among the members of the same community [36]. The digital revolution helped to extend these practices and to include strangers [32]. Thanks to the digital technologies (first of all — the digital platforms) people who do not know each other can now cooperate in order to enhance their access to food, reduce cost of food consumption and avoid food waste. Participation in these practices provides food sharing activists not only with the material benefits (listed above), but also with social value as their pro-social behavior is approved by other participants [37]. The classification of these practices is given below in the Table 1.

Table 1. **Types of food sharing**

Table 1. **Типы фудшеринга**

Type of food sharing	Description	Example
Food co-production	People combine their efforts to grow agricultural products together, and share the harvest among themselves	Various models of collaborative urban agriculture [38]
Collective purchase of food	People pool their financial resources to buy food directly from the producers (or suppliers)	Solidarity purchase groups [39]
Collective cooking	Centralization of participants' efforts and resources for cooking meals	Collective kitchens [40]
Collaborative food consumption	Process of redistribution of the food surplus between suppliers and recipients	Sharing of food among two people

Some researchers extend the concept of food sharing to include common (collaborative) use of resources that can be used to produce or to get food (urban plots, information about points for gleaning, collective workshops on growing food, on cooking etc). However, we do not agree with this approach as it over-generalizes the concept of food sharing.

As Table 1 shows, there are four basic types of food sharing. The first three of them represent collective production of food (generally organized without any formal registration) [41,42]. These productive models of food sharing help people to enhance their access to food by enabling them to get food that is not available in the food retail chains and restaurants and/or to save money and/or time thanks to economies of scale. They also contribute to community building as participants share the common values and establish social ties through the food sharing. However, these productive models generally do not deal with food surplus and are not oriented towards reduction of food waste.

To the contrary, the goal of collaborative food sharing is to avoid inefficient use of food by redistributing food surplus [43,44]. This model of food sharing (that can be described as distributive food sharing to differentiate it from productive food sharing models described above) has four dimensions [45,46]:

- Economic dimension as it helps to reduce financial losses related to food waste and creates value for recipients of food. Food suppliers either can charge a price for the food they re-distribute (generally this price is substantially lower than the normal market price of the product) or avoid cost related to waste disposal. Food recipients save money by getting food at a lower price or for free. Thanks to food sharing recipient can get a larger amount of food than usual or receive food of higher quality;
- Social environment impact as it fosters social responsibility of food suppliers and provide recipients (many of whom belong to groups with low or no income) with food they need [47];
- Ecological dimension as redistribution of food reduces food waste. It helps to decrease the negative impact of the global food security system on the environment [48,49,50,51];
- Community dimensions as participation in food sharing helps to build social ties.

Importance of distributive food sharing is recognized not only by the activists, but also by the other stakeholders, including governments. For example, in France, since 2016 law has been introduced that prohibits stores with more than 400 square meters of area dispose of the food products. Shops are obliged to transfer products to charitable organizations, otherwise they must pay a fine of up to 75 thousand euros (the list of penalties for violation includes arrest for up to two years) [52].

Of course, the development of distributive food sharing will not be able to solve all problems of food security and food waste. Nevertheless, it is one of the possible tools to improve the current situation.

As collaborative food consumption (or distributive food sharing) is the only type of food sharing that contributes to a compromise between fighting food waste and providing people with access to food, productive

types of food sharing will be excluded from the research. We will analyse only distributive food sharing practices.

3.2. Analysis of distributing food sharing

Key features of distributive food sharing:

- Food products are provided free of charge (non-commercial food sharing), or at a price significantly lower than their initial or normal market value (commercial food sharing).
- The goods transferred to the needy must be of satisfactory quality or the supplier must explicitly inform recipients about potential problems. For example, the suppliers may re-distribute food products that are beyond their "best before" date but are not spoiled yet. In this case suppliers should clearly state this problem so that potential recipients could decide if they are ready to take risk related to this food. But in no case can re-distributed food be dangerous, really spoiled etc. However, it is only possible for C2C food exchanges. If food is provided by businesses (producers, retail chains etc) it must meet all legal requirements and may not be explored. Therefore, unprocessed meat and fish and dairy products are rarely used in the food sharing.
- As a rule, food re-distribution is supported by the intermediaries that facilitate interactions between the suppliers and the recipients.

Intermediaries use various models of facilitation. Depending on these models the following types of food sharing can be identified:

1) B2B2C. This food re-distribution mechanism is used when the company that wishes to transfer goods is a store (or the amount of donated food is large enough). In this case, the distribution is normally organized through charitable foundations — food banks etc [53,54] which collect food from suppliers and re-distribute it among its users (so B2B2C in this context means "food supplier — food bank — final user") through soup kitchens, free shops etc. Food bank as a rule has facilities and personnel (generally volunteers) necessary to collect, store and distribute the food. The food bank may own soup kitchens and free shops or cooperate with independent organizations (in this case the chain of intermediaries becomes longer: "food supplier — food bank — soup kitchen (free shop) — end user").

As food banks are non-commercial institutions, they often do not have enough resources to develop food redistribution infrastructure. It limits their potential to support people in need and to promote food sharing as a social practice [22].

2) B2C. In this case intermediaries do not participate directly in physical redistribution of food. They provide the suppliers and the recipients with digital infrastructure (platforms) where suppliers can publish information about their food surplus and the recipients can respond to these offers. Platform also set up the rules of food sharing that suppliers and recipients are obliged to respect. Commercial food sharing (sale of expiring food products at a discount) is generally organized in this format. Unlike B2B2C model, where large amounts of food are transferred from suppliers to intermediaries (wholesale deals), B2C format mostly corresponds to retail deals (when the individual customers purchase small amounts of food at a discount).

The potential of commercial factoring as a tool to ensure access to food for people in need is limited, since food is mainly provided by restaurants, cafes etc. Taking into account the high margin that restaurants include into their prices [55], even the discount provided often does not make the food re-distributed through commercial food sharing affordable for the people in need.

3) C2C. This mechanism is used when one person wants to give surplus food to the other consumers [56]. As a rule, the groups in social networks are used for this purpose. These groups are used only as a platform of communication and are normally non-commercial. Owners of these do not provide any support for suppliers and recipients (unlike operators of digital platforms used for B2C food sharing) [57,58]. There are also specialized applications for smartphones [59].

People who have food surplus publish information in this social media group and specify terms of transfer. People who are potentially interested in receiving this food reply to this ad (directly in the group or via their private messages). Normally the model "the first come first served" is used. After that suppliers and recipients agree upon the place and the time of the food distribution.

Organization of C2C food sharing:

- products are transferred free of charge (or for a small compensation);
- recipients should not take more food than they can consume;
- products re-distributed through food sharing cannot be resold;
- limited counts of food transfers to one recipient during a fixed period of time may apply;
- no discrimination of the recipients (age, race, gender, income etc).

Similar practices have long existed in various regions of the world [60], but the use of digital technologies has significantly simplified their use [61,62].

4) C2B2C. Within the framework of this model, an infrastructure that simplifies the exchange of food products between users can be created. An example of such an infrastructure is the public refrigerators, which have gained great popularity in Germany. In these refrigerators installed in public places, anyone can leave and pick up food [63,64]. Transfer of food within this model is organized without any negotiation between the suppliers and the recipients (so there is no need in digital platforms for communication). Suppliers simply leave their food in these refrigerators while the recipients check the available food and take what they like.

The owner of these refrigerators does not participate in food exchanges either. It simply provides public infrastructure for food re-distribution free of charge.

The more detailed classification of distributive food sharing is presented below in the Table 2.

Table 2. **Classification of food sharing**

Table 2. **Классификация фудшеринга**

Classification criteria	Type of foodsharing	Comments	Example
Participants	B2B2C	Legal entities (food suppliers, foundations, etc.) participate in the program of food sharing, which is organized by a specialized organization that collects, stores and distributes food, as well as controls the processes of food distribution	Distribution of food through food banks
	B2C	Providing distribution participants with an online service (platform) that simplifies interaction. Typical for retail food distribution	Food sharing apps (DoggyBag)
	C2C	The food is directly exchanged between the consumers	Food sharing groups in the social media
	C2B2C	Creating an infrastructure for the exchange of the food in a physical environment	Public refrigerators
Interaction space	Physical	Food sharing is run via the purposively created material infrastructure (warehouses, shops, pick-up points, canteens, etc.) and/or with the involvement of personnel and means of delivery	Food banks Public refrigerators
	Digital	Interaction between the participants of the sharing is organized using digital tools, no special material infrastructure is created	Food sharing digital platforms
	(Phygital)	Both digital and material tools are used for food sharing	Russian project "Foodsharing"
Economic nature	Commercial	Food suppliers participate in food sharing for commercial purposes	Commercial food sharing
	Non-commercial	The participants of the food sharing are interested in (social, environmental, etc.) goals	Non-commercial food sharing groups in social media
Type of products	Not ready to eat	Suppliers provide food that should be cooked	Food provided by retail chains
	Cooked	Suppliers provide ready-to-eat meals	Food provided by restaurants
	Combined	Both food for cooking and ready-to-eat food can be re-distributed	Typical for C2C food sharing
The amount of food provided	Wholesale	Redistribution of large amounts of food	Typical for food supplies from the stores and from the manufacturers
	Retail	Redistribution of small amounts of food	Typical for food supplies from the restaurants and for C2C food sharing

3.3. The current state of food sharing in Russia and recommendations for its development

The first food sharing project in Russia is the movement of the same name [65]. It has been operating since 2015 in Moscow and St. Petersburg. The principle of operation of the Russian Food sharing movement is close to the concept of B2B2C. The peculiar feature of this project is the absence of its own distribution center. Re-distribution is carried out by volunteers who pick up food from the suppliers and deliver it to the recipients (if the weight of the provided food exceeds 12 kg). At least 50% of the food collected by the volunteer should be distributed among people in need free of charge, and volunteers can keep the rest for their personal consumption.

Absence of physical infrastructure reduces operation costs and accelerates food distribution. It helps to increase the quality of food. The coordination of the interactions of the participants of the foodsharing is carried out through the Vkontakte social media network and Google forms.

To assess the level of development of C2C food sharing in Russia, a search was run for the keyword "food sharing" in the Vkontakte social network (the most popular social network in Russia) in order to spot out the specialized social media groups supporting distributive food sharing (Table 3). A total of 521 groups were found, the analysis of the most active of them is presented below in the Table 3.

Table 3. **Food sharing communities in Russia (The online study was run on 15.10.2021 by the authors)**

Table 3. **Фудшеринговые сообщества в России (онлайн-исследование было проведено авторами 15.10.2021)**

Group name	Number of subscribers	Average number of posts per day for the period 29.09–13.10
Fudshering Sankt-Peterburg (Food sharing Saint Petersburg)	23621	11
Fudshering v SPb! [Produkty pitaniya darom] (Foodsharing in St. Petersburg! [Food for free])	7501	1,33
Fudshering Otdam darom edu (Moskva i Sankt-Peterburg) (Foodsharing I will give away food for free (Moscow and St. Petersburg))	78632	21,6
Helpfud. Fudshering. Sankt-Peterburg (Helpfood. Foodsharing. Saint-Petersburg)	7361	1,07

The Table 3 shows that the food sharing trend is gaining popularity in St. Petersburg and Moscow. The results of our search are not complete as many food sharing transactions in social media are organized in small local groups (for example, groups created for a single district or even or a single residential complex: these groups are not specialized in food sharing, and support all types of interactions and deals among their members). In the analysed groups, a wide range of food products are redistributed (ranging from infant formula to ready-to-eat home cooked food). Thus, in Russia, the concept of food sharing is beginning to attract followers in large cities. In regions food sharing is less developed but not absolutely absent. One of the local food sharing projects is the group "Foodshering | Nefteyugansk" ("Фудшеринг | Нефтеюганск") [66], created in Nefteyugansk (a small city in the north of Russia but with a high level of life thanks to the local oil industry). This group is especially interesting because it was founded by the schoolchildren.

Unfortunately, the conditions for development of distributive food sharing in Russia are not favorable. For example, if a food store decides to transfer food to a food bank, the food bank has to pay 40% of the goods value, as there is tax 20% — income tax, and 20% — value added tax). Therefore, food retail stores have no economic incentives to participate in distributive food sharing in Russia. It is important to introduce legislation that would support food sharing practices.

The government is reluctant to exempt food sharing from taxes for the following reasons:

- possibility of using the write-off of products for tax evasion.
- complexity of tax administration of the write-off procedure.

However, these concerns are unjustified. Russia has developed a digital system of control over the payment of taxes, which can effectively counteract tax evasion and simplify the process of administration.

It is interesting to note that the largest retail chains in Russia support amendments to legislation that would simplify the procedure for writing off the food products and create favorable conditions for their use for distributive food sharing [67]. The interest of retail chains in creating a favorable legislative environment for food sharing may contribute to the adoption of necessary changes (since retail chains in Russia are influential market players).

4. Conclusion

The traditional ways of providing food to the low-income people based on government intervention and on the activities of individual charitable organizations do not correspond to the current social and technological environment. It is necessary not only to increase food production, but to ensure more efficient and considered consumption of available food and reducing of waste through self-organization of participants of the food production and consumption chain.

Food sharing as a tool for food redistribution will improve the quality of food use and reduce the negative effect of food waste on the environment. It will not be able to replace traditional food security tools (such as food stamps), but it will be an effective supplement for them.

In order to fully realize the potential of food sharing in Russia, it is necessary to develop an appropriate regulatory framework, in particular, to accord tax-exemption for the food transferred to people in need. In this case, it will be possible to involve in food sharing not only the private suppliers, but also the commercial organizations. It will increase the volume of available food, expand its assortment and achieve stability in the amount of the provided food. Without this, food sharing will remain a narrow niche tool covering only a limited number of participants.

Another measure is the promotion of food sharing as a social tool (among the retail chains, the consumers and people in need). The knowledge that food cannot and should not go to waste, but should be transferred to people in need, will contribute to consumers' adoption of distributive food sharing concept. The formation of an attractive image of sharing as a way to solve social and environmental problems will allow its more efficient using to provide food to the people in need and to reduce food waste.

It should be emphasized that food sharing will not be able to solve the problem of food shortages in the poor countries. Due to the large number of starved populations, the food sharing resource for these states is insufficient (since the volume of excess food both among the consumers and the retail chains — due to their insufficient development — is quite small). On the contrary, in the developed countries, where the people in need make up a relatively small proportion of the population, and at the same time the retail trade infrastructure is well-developed (where the retail trade produces a large amount of waste), and the consumers, as a rule, have a significant amount of excess food, food sharing can serve as an effective tool for providing food to the people in need.

It is important to note that food sharing is a reaction of the society to unreasoned (excessive) production and irresponsible consumption of food. With the increase of the retail chains efficiency (minimizing losses due to more accurate planning of orders) and the transition to responsible consumption, the amount of food that will be used for food sharing will inevitably decrease. This serves as an additional confirmation that food sharing cannot be the only or even the main tool for providing food for the people in need.

REFERENCES

1. Botsman, R., Rogers, R. (2010). What's Mine Is Yours: The Rise of Collaborative Consumption. New York, Harper Business, 2010.
2. Curtis, S.K., Lehner, M. (2019). Defining the Sharing Economy for Sustainability. *Sustainability,* 11(3), Article 567. https://doi.org/10.3390/su11030567
3. Michelini, L., Principato, L., Iasevoli, G. (2018) Understanding Food Sharing Models to Tackle Sustainability Challenges. *Ecological Economics,* 145, 205–217. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.09.009
4. Clarke, A., Parsell, C. (2022). Resurgent charity and the neoliberalizing social, *Economy and Society,* 51(2), 307–329. https://doi.org/10.1080/03085147.2021.1995977
5. Santeramo, F.G., Kang, M. (2022). Food Security Threats and Policy Responses in EU and Africa, *Sustainable Horizons*, 4, Article 100044. https://doi.org/10.1016/j.horiz.2022.100044
6. Mutea, E., Bottazzi, P., Jacobi, J., Kiteme, B., Speranza C. I., Rist, S. (2019). Livelihoods and Food Security Among Rural Households in the North-Western Mount Kenya Region. *Frontiers in Sustainable Food Systems,* 3, Article 98. https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fsufs.2019.00098
7. Workie, E., Mackolil, J., Nyika, J., Ramadas, S. (2020). Deciphering the impact of COVID-19 pandemic on food security, agriculture, and livelihoods: A review of the evidence from developing countries. *Current Research in*

Environmental Sustainability, 2, Article 100014. https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.100014
8. Friedman, C. (2021). Food insecurity of people with disabilities who were Medicare beneficiaries during the COVID-19 pandemic. *Disability and Health Journal,* 14(4), Article 101166. https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2021.101166
9. Saxena, A., Brahmawar Mohan S. (2021). The impact of food security disruption due to the Covid-19 pandemic on tribal people in India. Chapter in a book: Advances in Food Security and Sustainability, 6. Academic Press, Washington, DC, United States, 2021. https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2021.07.006
10. Lin, F., Li, X., Jia, V., Feng F., Huang H., Huang, J. et al. (2023). The impact of Russia-Ukraine conflict on global food security. *Global Food Security*, 36, Article 100661. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100661
11. Deininger, K., Ayalew Ali, D., Kussul, N., Shelestov, A., Lemoine, G., Yailimova, H. (2023). Quantifying war-induced crop losses in Ukraine in near real time to strengthen local and global food security. *Food Policy,* 115, Article 102418. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102418
12. Abay, K.A., Breisinger, C., Glauber, J., Kurdi, S., Laborde, D., Siddig, K. (2023). The Russia-Ukraine war: Implications for global and regional food security and potential policy responses. *Global Food Security*, 36, Article 100675. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100675
13. Ayaz, M., Fontan-Sers, C., Maisonnave, H., Mughal Y. M. (2023). Collateral damage? Welfare Effects of The Ukraine War on Pakistan. *World Development Sustainability,* Article 100082. https://doi.org/10.1016/j.wds.2023.100082
14. Arndt, C., Diao, X., Dorosh, P., Pauw, K., Thurlow, J. (2023). The Ukraine war and rising commodity prices: Implications for developing countries. *Global Food Security,* 36, Article 100680. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100680
15. Michelini, L., Grieco, C., Ciulli, F., Di Leo, A. (2020). Uncovering the impact of food sharing platform business models: A theory of change approach, *British Food Journal*, 122(5), 1437–1462. https://doi.org/10.1108/BFJ-06-2019-0422
16. Bazarnova, J., Barsukova, N., Eliseeva, S., Gnilitskiy, V., Shepiashvili, J. (2020). Shelf life extension of minimally processed vegetables using combinations of bacterial bioprotection and modified atmosphere packaging. *Agronomy Research,* 18(S3), 1616–1628. https://doi.org/10.15159/AR.20.059
17. Lanno, M., Silm, M., Shanskiy, M., Kisand, A., Orupold, K., Kriipsalu, M. (2020). Open windrow composting of fish waste in Estonia. *Agronomy Research,* 18(4), 2465–2477. https://doi.org/10.15159/AR.20.194
18. Malenica, D., Rajeev, B. (2020). Review article: Current research trends in fruit and vegetables wastes and by-products management — Scope and opportunities in the Estonian context. *Agronomy Research,* 18(S3), 1760–1795. https://doi.org/10.15159/AR.20.086
19. Mindlin, Yu., Mityashin, G., Tikhomirov, E. (October 15–16, 2022). *Innovative forms of organization of food provision for low-income and no-income people*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference: Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad (DAICRA 2021). Yekaterinburg, Russia. https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012125
20. Landers, P.S. (2007). The Food Stamp Program: History, Nutrition Education, and Impact. *Journal of the American Dietetic Association,* 107(11), 1945–1951. https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.08.009
21. Schanzenbach, D.W. (2023). Understanding SNAP: An overview of recent research. *Food Policy,* 114, Article 102397. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2022.102397
22. Mesiranta, N., Närvänen, E., Mattila, M. (2021). Framings of Food Waste: How Food System Stakeholders Are Responsibilized in Public Policy Debate. *Journal of Public Policy and Marketing,* 41(2), 144–161. https://doi.org/10.1177/07439156211005722
23. Plotnikov, V., Nikitin, Y., Maramygin, M., Ilyasov, R. (2021). National food security under institutional challenges (Russian experience). *International Journal of Sociology and Social Policy,* 41(1/2), 139–153. https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074
24. Zhichkin, K.A., Nosov, V.V., Zhichkina L. N., Ramazanov, I.A., Kotyazhov, I.A., Abdulragimov, I.A. (2021). The food security concept as the state support basis for agriculture. *Agronomy Research,* 19(2), 629–637. https://doi.org/10.15159/AR.21.097
25. Ianenko, M., Huhlaev, D., Martynenko, O. (November 21–22, 2018). *Digital transformation of trade: Problems and prospects of marketing activities.* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference «Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service». Saint-Petersburg, Russian Federation. https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012118
26. Kapustina, I., Pereverzeva, T., Stepanova, T., Bakharev, V., Lebedzeva, S. (September 28–29, 2022). *Adaptation of Traditional and Digital Economy Institutions as a Factor of Socio-Economic Development of Trade Industry Economic Agents*. International Scientific Conference. Global Challenges of Digital Transformation of Markets. GDTM 2022. St. Petersburg, Russia.
27. Malenkov, Y., Kapustina, I., Kudryavtseva, G., Shishkin, V.V, Shishkin V. I. (2021). Digitalization and Strategic Transformation of Retail Chain Stores: Trends, Impacts, Prospects. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity,* 7(2), Article 108. https://doi.org/10.3390/joitmc7020108
28. Gruvaeus, A., Dahlin, J. (2012). Revitalization of Food in Sweden — A Closer Look at the REKO Network. *Sustainability*, 13(18), Article 10471. https://doi.org/10.3390/su131810471
29. Michel-Villarreal, R., Hingley, M., Canavari, M, Bregoli, I. (2019). Sustainability in Alternative Food Networks: A Systematic Literature Review. *Sustainability,* 11(3), Article 859. https://doi.org/10.3390/su11030859
30. Abdullin, A., Vafin, R., Turgel, I., Khoroshkevich, N. (March 29–31, 2021). *Food security of Russia — modern challenges and possible solutions*. E3S Web of Conferences. International Conference "Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic" (EFSC2021). Doushanbe, Republic of Tadjikistan. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128201004
31. Fedotova, G.V., Kulikova, N.N., Kurbanov, A.K., Gontar, A.A. (2018). Threats to Food Security of the Russia's Population in the Conditions of Transition to Digital Economy. Chapter in a book: The Impact of Information on Modern Humans. HOSMC2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75383-6_68
32. Frenken, K., Schor, J. (2017). Putting the sharing economy into perspective. *Environmental Innovation and Societal Transitions,* 23, 3–10. https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.01.003
33. Revinova, S., Ratner, S., Lazanyuk, I., Gomonov, K. (2020). Sharing Economy in Russia: Current Status, Barriers, Prospects and Role of Universities. *Sustainability,* 12(12), Article 4855. https://doi.org/10.3390/su12124855
34. Shmidt, M. (2019). The Sharing Economy and its Paradoxes: A Sociological Study of Sharing Communities in Russia. *Mir Rossii,* 28(2) 148–171. https://doi.org/10.17323/1811-038X-2019-28-2-148-171
35. TiarCenter. (2019). Food sharing in Russia. Retrieved from https://tiarcenter.com/wp-content/uploads/2019/10/Foodsharing-in-Russia_October-1.pdf Accessed May 25, 2023 (In Russian)
36. Ziker, J., Schnegg, M. 2005. Food sharing at meals. *Human Nature,* 16, 178–210. https://doi.org/10.1007/s12110-005-1003-6
37. Wang, C., Huang, J., Liao, J., Wan, X. (2020). Food Sharing With Choice: Influence on Social Evaluation. *Frontiers in Psychology,* 11, Article 2070. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02070
38. Paul, B. (2022). Urban agricultural activities, a food system resilience strategy during COVID-19 in Haiti. *Food Systems*, 5(4), 327–336. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-4-327-336
39. Fonte, M. (2013). Food consumption as social practice: Solidarity Purchasing Groups in Rome, Italy. *Journal of Rural Studies,* 32, 230–239. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.07.003
40. Engler-Stringer, R., Berenbaum, S. (2007). Exploring Food Security with Collective Kitchens Participants in Three Canadian Cities. *Qualitative Health Research*, 17(1), 75–84. https://doi.org/10.1177/1049732306296451
41. Kotliarov, I. (2022). A taxonomy of business organizations: Transport industry and beyond. *Transportation Research Procedia,* 63, 2165–2171. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.243
42. Kotliarov, I. (2022). Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to the development of cooperatives in Russia. *The Russian Peasant Studies*, 7(4), 20–32. https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32
43. Choi, T.M., Guo, S., Liu, N., Shi, X. (2019). Values of food leftover sharing platforms in the sharing economy. *International Journal of Production Economics,* 213, 23–31. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.03.005
44. Richards, T.J., Hamilton, S.F. (2018). Food waste in the sharing economy. *Food Policy,* 75, 109–123. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.01.008
45. Nica-Avram, G., Harvey, J., Smith, G., Smith, A., Goulding, J. (2021). Identifying food insecurity in food sharing networks via machine learning. *Journal of Business Research,* 131, 469–484. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.028
46. Purwanto, M.R., Mukharrom, T., Zhilyakov, D.I., Pamuji, E., Shankar, K. (2019). Study the importance of Business Ethics and Ethical Marketing in Digital Era. *Journal of Critical Reviews,* 6(5), 150–154. https://doi.org/10.22159/jcr.06.05.26
47. Schanes, K., Stagl, S. (2019). Food waste fighters: What motivates people to engage in food sharing? *Journal of Cleaner Production,* 211, 1491–1501. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.162
48. Bakharev, V.V., Kapustina, I.V., Mityashin, G. Yu, Katrashova, Yu.V. (2020). Ecologization of Retail: An Analysis of Strategies. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 12(5), 79–96. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-79-96 (In Russian)
49. Dabija, D.C., Pop, C.M. (2013). Green marketing — Factor of competitiveness in retailing. *Environmental Engineering and Management Journal,* 12(2), 393–400. https://doi.org/10.30638/eemj.2013.049
50. Ikramov, R., Mityashin, G. (April 28–30, 2021). *Ecologization of Retail: Russian Experience.* E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE-2021). Moscow, Russia. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128411018
51. Ikramov, R., Mityashin, G., Bakharev, V. (April 28–30, 2021). *Waste-Free Stores in Russia: A Retrospective Analysis, Criticism, and Analysis of the Visitor's Attitude.* E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE-2021). Moscow, Russia. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128411016
52. The Guardian. (2016). French law forbids food waste by supermarkets. Retrieved from https://www.theguardian.com/world/2016/feb/04/french-law-forbids-food-waste-by-supermarkets Accessed May 25, 2023
53. Mirosa, M., Mainvil, L., Horne, H., Mangan-Walker, E. (2016). The social value of rescuing food, nourishing communities. *British Food Journal,* 118(12), 3044–3058. https://doi.org/10.1108/BFJ-04-2016-0149
54. Purdam, K., Garratt, E. A., Esmail, A. (2016). Hungry? Food Insecurity, Social Stigma and Embarrassment in the UK. *Sociology,* 50(6), 1072–1088. https://doi.org/10.1177/0038038515594092
55. Kotliarov, I.D. (2021). Monetization management in restaurant business. *Food Processing: Techniques and Technology,* 51(1), 146–158. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-146-158 (In Russian)
56. Schanes, K., Dobernig, K., Gözet, B. (2018). Food waste matters — A systematic review of household food waste practices and their policy implications. *Journal of Cleaner Production,* 182, 978–991. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.030
57. Davies, A., Legg, R. (2018). Fare sharing: interrogating the nexus of ICT, urban food sharing, and sustainability, *Food, Culture and Society,* 21(2), 233–254. https://doi.org/10.1080/15528014.2018.1427924
58. Hagolani-Albov, S.E., Ehrnström-Fuentes, M. (2023). The REKO model: Facebook as a platform for food system reconnection. *International Journal of Food Design*, 8, 61–87. https://doi.org/https://doi.org/10.1386/ijfd_00051_1
59. Harvey, J., Smith, A., Goulding, J., Branco Illodo, I. (2020). Food sharing, redistribution, and waste reduction via mobile applications: A social network analysis.

Industrial Marketing Management, 88, 437–448. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2019.02.019
60. McKerchar, C., Bowers, S., Heta, C., Signal, L., Matoe, L. (2015). Enhancing Māori food security using traditional kai. *Global Health Promotion*, 22(3), 15–24, https://doi.org/10.1177/1757975914543573
61. Ciaghi, A., Villafiorita, A. (September 12–15, 2016). *Beyond food sharing: Supporting food waste reduction with ICTs.* IEEE International Smart Cities Conference (ISC2). Trento, Italy. https://doi.org/10.1109/ISC2.2016.7580874
62. Davies, A.R., Edwards, F., Marovelli, B., Morrow, O., Rut, M., Weymes, M. (2017). Making visible: Interrogating the performance of food sharing across 100 urban areas. *Geoforum,* 86, 136–149. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.09.007
63. Morrow, O. (2019). Sharing food and risk in Berlin's urban food commons. *Geoforum,* 99, 202–212. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.09.003
64. Reynolds, C., Goucher, L., Quested, T., Bromley, S., Gillick, S., Wells, V. Et al. (2019). Review: Consumption-stage food waste reduction interventions — What works and how to design better interventions. *Food Policy,* 83, 7–27. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2019.01.009
65. АNO «FOODSHARING». Retrieved from: https://foodsharing.ru/ Accessed May 25, 2023. (In Russian)
66. Rg.ru (2021) A schoolboy has launched a food exchange project for residents of Nefteyugansk https://rg.ru/2021/02/11/reg-urfo/shkolnik-zapustil-proekt-po-obmenu-edoj-dlia-zhitelej-nefteiuganska.html Accessed May 25, 2023. (In Russian)
67. Gazeta.ru (2021) A flaw in the legislation: what hinders the development of foodsharing in Russia https://www.gazeta.ru/social/2021/07/27/13806128.shtml?updated Accessed May 25, 2023. (In Russian)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Botsman, R., Rogers, R. (2010). What's Mine Is Yours: The Rise of Collaborative Consumption. New York, Harper Business, 2010.
2. Curtis, S.K., Lehner, M. (2019). Defining the Sharing Economy for Sustainability. *Sustainability,* 11(3), Article 567. https://doi.org/10.3390/su11030567
3. Michelini, L., Principato, L., Iasevoli, G. (2018) Understanding Food Sharing Models to Tackle Sustainability Challenges. *Ecological Economics,* 145, 205–217. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.09.009
4. Clarke, A., Parsell, C. (2022). Resurgent charity and the neoliberalizing social, *Economy and Society,* 51(2), 307–329. https://doi.org/10.1080/03085147.2021.1995977
5. Santeramo, F.G., Kang, M. (2022). Food Security Threats and Policy Responses in EU and Africa, *Sustainable Horizons*, 4, Article 100044. https://doi.org/10.1016/j.horiz.2022.100044
6. Mutea, E., Bottazzi, P., Jacobi, J., Kiteme, B., Speranza C. I., Rist, S. (2019). Livelihoods and Food Security Among Rural Households in the North-Western Mount Kenya Region. *Frontiers in Sustainable Food Systems,* 3, Article 98. https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fsufs.2019.00098
7. Workie, E., Mackolil, J., Nyika, J., Ramadas, S. (2020). Deciphering the impact of COVID-19 pandemic on food security, agriculture, and livelihoods: A review of the evidence from developing countries. *Current Research in Environmental Sustainability,* 2, Article 100014. https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.100014
8. Friedman, C. (2021). Food insecurity of people with disabilities who were Medicare beneficiaries during the COVID-19 pandemic. *Disability and Health Journal,* 14(4), Article 101166. https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2021.101166
9. Saxena, A., Brahmawar Mohan S. (2021). The impact of food security disruption due to the Covid-19 pandemic on tribal people in India. Chapter in a book: Advances in Food Security and Sustainability, 6. Academic Press, Washington, DC, United States, 2021. https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2021.07.006
10. Lin, F., Li, X., Jia, V., Feng F., Huang H., Huang, J. et al. (2023). The impact of Russia-Ukraine conflict on global food security. *Global Food Security*, 36, Article 100661. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100661
11. Deininger, K., Ayalew Ali, D., Kussul, N., Shelestov, A., Lemoine, G., Yailimova, H. (2023). Quantifying war-induced crop losses in Ukraine in near real time to strengthen local and global food security. *Food Policy,* 115, Article 102418. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102418
12. Abay, K.A., Breisinger, C., Glauber, J., Kurdi, S., Laborde, D., Siddig, K. (2023). The Russia-Ukraine war: Implications for global and regional food security and potential policy responses. *Global Food Security*, 36, Article 100675. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100675
13. Ayaz, M., Fontan-Sers, C., Maisonnave, H., Mughal Y. M. (2023). Collateral damage? Welfare Effects of The Ukraine War on Pakistan. *World Development Sustainability,* Article 100082. https://doi.org/10.1016/j.wds.2023.100082
14. Arndt, C., Diao, X., Dorosh, P., Pauw, K., Thurlow, J. (2023). The Ukraine war and rising commodity prices: Implications for developing countries. *Global Food Security,* 36, Article 100680. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100680
15. Michelini, L., Grieco, C., Ciulli, F., Di Leo, A. (2020). Uncovering the impact of food sharing platform business models: A theory of change approach, *British Food Journal*, 122(5), 1437–1462. https://doi.org/10.1108/BFJ-06–2019–0422
16. Bazarnova, J., Barsukova, N., Eliseeva, S., Gnilitskiy, V., Shepiashvili, J. (2020). Shelf life extension of minimally processed vegetables using combinations of bacterial bioprotection and modified atmosphere packaging. *Agronomy Research,* 18(S3), 1616–1628. https://doi.org/10.15159/AR.20.059
17. Lanno, M., Silm, M., Shanskiy, M., Kisand, A., Orupold, K., Kriipsalu, M. (2020). Open windrow composting of fish waste in Estonia. *Agronomy Research,* 18(4), 2465–2477. https://doi.org/10.15159/AR.20.194
18. Malenica, D., Rajeev, B. (2020). Review article: Current research trends in fruit and vegetables wastes and by-products management — Scope and opportunities in the Estonian context. *Agronomy Research,* 18(S3), 1760–1795. https://doi.org/10.15159/AR.20.086
19. Mindlin, Yu., Mityashin, G., Tikhomirov, E. (October 15–16, 2022). *Innovative forms of organization of food provision for low-income and no-income people*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference: Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad (DAICRA 2021). Yekaterinburg, Russia. https://doi.org/10.1088/1755–1315/949/1/012125
20. Landers, P.S. (2007). The Food Stamp Program: History, Nutrition Education, and Impact. *Journal of the American Dietetic Association,* 107(11), 1945–1951. https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.08.009
21. Schanzenbach, D.W. (2023). Understanding SNAP: An overview of recent research. *Food Policy,* 114, Article 102397. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2022.102397
22. Mesiranta, N., Närvänen, E., Mattila, M. (2021). Framings of Food Waste: How Food System Stakeholders Are Responsibilized in Public Policy Debate. *Journal of Public Policy and Marketing,* 41(2), 144–161. https://doi.org/10.1177/07439156211005722
23. Plotnikov, V., Nikitin, Y., Maramygin, M., Ilyasov, R. (2021). National food security under institutional challenges (Russian experience). *International Journal of Sociology and Social Policy,* 41(1/2), 139–153. https://doi.org/10.1108/IJSSP-03–2020–0074
24. Zhichkin, K.A., Nosov, V.V., Zhichkina L. N., Ramazanov, I.A., Kotyazhov, I.A., Abdulragimov, I.A. (2021). The food security concept as the state support basis for agriculture. *Agronomy Research,* 19(2), 629–637. https://doi.org/10.15159/AR.21.097
25. Ianenko, M., Huhlaev, D., Martynenko, O. (November 21–22, 2018). *Digital transformation of trade: Problems and prospects of marketing activities.* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference «Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service». Saint-Petersburg, Russian Federation. https://doi.org/10.1088/1757–899X/497/1/012118
26. Kapustina, I., Pereverzeva, T., Stepanova, T., Bakharev, V., Lebedzeva, S. (September 28–29, 2022). *Adaptation of Traditional and Digital Economy Institutions as a Factor of Socio-Economic Development of Trade Industry Economic Agents*. International Scientific Conference. Global Challenges of Digital Transformation of Markets. GDTM 2022. St. Petersburg, Russia.
27. Malenkov, Y., Kapustina, I., Kudryavtseva, G., Shishkin, V.V, Shishkin V. I. (2021). Digitalization and Strategic Transformation of Retail Chain Stores: Trends, Impacts, Prospects. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity,* 7(2), Article 108. https://doi.org/10.3390/joitmc7020108
28. Gruvaeus, A., Dahlin, J. (2012). Revitalization of Food in Sweden — A Closer Look at the REKO Network. *Sustainability*, 13(18), Article 10471. https://doi.org/10.3390/su131810471
29. Michel-Villarreal, R., Hingley, M., Canavari, M, Bregoli, I. (2019). Sustainability in Alternative Food Networks: A Systematic Literature Review. *Sustainability,* 11(3), Article 859. https://doi.org/10.3390/su11030859
30. Abdullin, A., Vafin, R., Turgel, I., Khoroshkevich, N. (March 29–31, 2021). *Food security of Russia — modern challenges and possible solutions*. E3S Web of Conferences. International Conference "Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic" (EFSC2021). Doushanbe, Republic of Tadjikistan. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128201004
31. Fedotova, G.V., Kulikova, N.N., Kurbanov, A.K., Gontar, A.A. (2018). Threats to Food Security of the Russia's Population in the Conditions of Transition to Digital Economy. Chapter in a book: The Impact of Information on Modern Humans. HOSMC2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978–3–319–75383–6_68
32. Frenken, K., Schor, J. (2017). Putting the sharing economy into perspective. *Environmental Innovation and Societal Transitions,* 23, 3–10. https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.01.003
33. Revinova, S., Ratner, S., Lazanyuk, I., Gomonov, K. (2020). Sharing Economy in Russia: Current Status, Barriers, Prospects and Role of Universities. *Sustainability,* 12(12), Article 4855. https://doi.org/10.3390/su12124855
34. Shmidt, M. (2019). The Sharing Economy and its Paradoxes: A Sociological Study of Sharing Communities in Russia. *Mir Rossii,* 28(2) 148–171. https://doi.org/10.17323/1811–038X-2019–28–2–148–171
35. ТИАР-Центр (2019). Фудшеринг в России. Электронный ресурс: https://tiar-center.com/wp-content/uploads/2019/10/Foodsharing-in-Russia_October-1.pdf Дата доступа 25.05.2023.
36. Ziker, J., Schnegg, M. 2005. Food sharing at meals. *Human Nature,* 16, 178–210. https://doi.org/10.1007/s12110–005–1003–6
37. Wang, C., Huang, J., Liao, J., Wan, X. (2020). Food Sharing With Choice: Influence on Social Evaluation. *Frontiers in Psychology,* 11, Article 2070. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02070
38. Paul, B. (2022). Urban agricultural activities, a food system resilience strategy during COVID-19 in Haiti. *Food Systems*, 5(4), 327–336. https://doi.org/10.21323/2618–9771–2022–5–4–327–336
39. Fonte, M. (2013). Food consumption as social practice: Solidarity Purchasing Groups in Rome, Italy. *Journal of Rural Studies,* 32, 230–239. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.07.003
40. Engler-Stringer, R., Berenbaum, S. (2007). Exploring Food Security with Collective Kitchens Participants in Three Canadian Cities. *Qualitative Health Research*, 17(1), 75–84. https://doi.org/10.1177/1049732306296451
41. Kotliarov, I. (2022). A taxonomy of business organizations: Transport industry and beyond. *Transportation Research Procedia,* 63, 2165–2171. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.243
42. Kotliarov, I. (2022). Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to the development of cooperatives in Russia. *The Russian Peasant Studies*, 7(4), 20–32. https://doi.org/10.22394/2500–1809–2022–7–4–20–32
43. Choi, T.M., Guo, S., Liu, N., Shi, X. (2019). Values of food leftover sharing platforms in the sharing economy. *International Journal of Production Economics,* 213, 23–31. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.03.005
44. Richards, T.J., Hamilton, S.F. (2018). Food waste in the sharing economy. *Food Policy,* 75, 109–123. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.01.008

45. Nica-Avram, G., Harvey, J., Smith, G., Smith, A., Goulding, J. (2021). Identifying food insecurity in food sharing networks via machine learning. *Journal of Business Research,* 131, 469–484. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.028
46. Purwanto, M.R., Mukharrom, T., Zhilyakov, D.I., Pamuji, E., Shankar, K. (2019). Study the importance of Business Ethics and Ethical Marketing in Digital Era. *Journal of Critical Reviews,* 6(5), 150–154. https://doi.org/10.22159/jcr.06.05.26
47. Schanes, K., Stagl, S. (2019). Food waste fighters: What motivates people to engage in food sharing? *Journal of Cleaner Production,* 211, 1491–1501. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.162
48. Бахарев, В.В., Капустина, И.В., Митяшин, Г.Ю., Катрашова, Ю.В.(2020). Экологизация розничной торговли: анализ стратегий. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture,* 12 (5), 79–96. https://doi.org/10.12731/2658–6649–2020–12–5–79–96
49. Dabija, D.C., Pop, C.M. (2013). Green marketing — Factor of competitiveness in retailing. *Environmental Engineering and Management Journal,* 12(2), 393–400. https://doi.org/10.30638/eemj.2013.049
50. Ikramov, R., Mityashin, G. (April 28–30, 2021). *Ecologization of Retail: Russian Experience.* E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE-2021). Moscow, Russia. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128411018
51. Ikramov, R., Mityashin, G., Bakharev, V. (April 28–30, 2021). *Waste-Free Stores in Russia: A Retrospective Analysis, Criticism, and Analysis of the Visitor's Attitude.* E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE-2021). Moscow, Russia. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128411016
52. The Guardian. (2016)/.French law forbids food waste by supermarkets. Электронный ресурс: https://www.theguardian.com/world/2016/feb/04/french-law-forbids-food-waste-by-supermarkets Дата доступа 25.05.2023.
53. Mirosa, M., Mainvil, L., Horne, H., Mangan-Walker, E. (2016). The social value of rescuing food, nourishing communities. *British Food Journal,* 118(12), 3044–3058. https://doi.org/10.1108/BFJ-04–2016–0149
54. Purdam, K., Garratt, E. A., Esmail, A. (2016). Hungry? Food Insecurity, Social Stigma and Embarrassment in the UK. *Sociology,* 50(6), 1072–1088. https://doi.org/10.1177/0038038515594092
55. Котляров, И. Д. (2021). Управление монетизацией в ресторанном бизнесе. *Техника и технология пищевых производств*. 51(1), 146–158. https://doi.org/10.21603/2074–9414–2021–1–146–158
56. Schanes, K., Dobernig, K., Gözet, B. (2018). Food waste matters — A systematic review of household food waste practices and their policy implications. *Journal of Cleaner Production,* 182, 978–991. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.030
57. Davies, A., Legg, R. (2018). Fare sharing: interrogating the nexus of ICT, urban food sharing, and sustainability, *Food, Culture and Society,* 21(2), 233–254. https://doi.org/10.1080/15528014.2018.1427924
58. Hagolani-Albov, S.E., Ehrnström-Fuentes, M. (2023). The REKO model: Facebook as a platform for food system reconnection. *International Journal of Food Design*, 8, 61–87. https://doi.org/https://doi.org/10.1386/ijfd_00051_1
59. Harvey, J., Smith, A., Goulding, J., Branco Illodo, I. (2020). Food sharing, redistribution, and waste reduction via mobile applications: A social network analysis. *Industrial Marketing Management,* 88, 437–448. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2019.02.019
60. McKerchar, C., Bowers, S., Heta, C., Signal, L., Matoe, L. (2015). Enhancing Māori food security using traditional kai. *Global Health Promotion*, 22(3), 15–24, https://doi.org/10.1177/1757975914543573
61. Ciaghi, A., Villafiorita, A. (September 12–15, 2016). *Beyond food sharing: Supporting food waste reduction with ICTs.* IEEE International Smart Cities Conference (ISC2). Trento, Italy. https://doi.org/10.1109/ISC2.2016.7580874
62. Davies, A.R., Edwards, F., Marovelli, B., Morrow, O., Rut, M., Weymes, M. (2017). Making visible: Interrogating the performance of food sharing across 100 urban areas. *Geoforum,* 86, 136–149. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.09.007
63. Morrow, O. (2019). Sharing food and risk in Berlin's urban food commons. *Geoforum,* 99, 202–212. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.09.003
64. Reynolds, C., Goucher, L., Quested, T., Bromley, S., Gillick, S., Wells, V. Et al. (2019). Review: Consumption-stage food waste reduction interventions — What works and how to design better interventions. *Food Policy,* 83, 7–27. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2019.01.009
65. АНО «ФУДШЕРИНГ»: официальный сайт. Электронный ресурс: https://foodsharing.ru/ Дата доступа 25.05.2023.
66. Rg.ru (2021) Школьник запустил проект по обмену едой для жителей Нефтеюганска https://rg.ru/2021/02/11/reg-urfo/shkolnik-zapustil-proekt-po-obmenu-edoj-dlia-zhitelej-nefteiuganska.html Дата доступа 25.05.2023.
67. Газета.ru (2021) Изъян в законодательстве: что мешает развитию фудшеринга в России https://www.gazeta.ru/social/2021/07/27/13806128.shtml?updated Дата доступа 25.05.2023.

AUTHOR INFORMATION	СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Affiliation	**Принадлежность к организации**
Vladimir V. Bakharev, Candidate of Economic Sciences, Docent, Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University 50, Novorossiyskaya str., Saint-Petersburg, 194021, Russia Tel.: +7–981–933–45–77 E-mail: baharev_vv@spbstu.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–5653–2127	**Бахарев Владимир Васильевич** — кандидат экономических наук, доцент, Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого 194021, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, 50 Тел.: +7–981–933–45–77 E-mail: baharev_vv@spbstu.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–5653–2127
Gleb Yu. Mityashin, Master's Student in "Trade Business" Direction, Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University 50, Novorossiyskaya str., Saint-Petersburg, 194021, Russia Tel.: +7–981–933–45–77 E-mail: gleb.mityashin@yandex.ru ORCID: http://orcid.org/0000–0003–0416–7556 * corresponding author	**Митяшин Глеб Юрьевич** — магистрант направления «Торговое дело», Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого 194021, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, 50 Тел.: +7–981–933–45–77 E-mail: gleb.mityashin@yandex.ru ORCID: http://orcid.org/0000–0003–0416–7556 * автор для контактов
Tatyana V. Stepanova, Candidate of Economic Sciences, Docent, Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University 194021, Novorossiyskaya str., 50, Saint-Petersburg, Russia Tel.: +7–981–933–45–77 E-mail: stepanova.tv@spbstu.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1507–6628	**Степанова Татьяна Владимировна** — кандидат экономических наук, доцент, Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого 194021, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, 50 Тел.: +7–981–933–45–77 E-mail: stepanova.tv@spbstu.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1507–6628
Contribution	**Критерии авторства**
Vladimir V. Bakharev — methodology, project administration; **Gleb Yu. Mityashin** — conceptualization, methodology, investigation, writing (original draft); **Tatyana V. Stepanova** — investigation, writing (review and editing).	**Бахарев В. В.** — методология, общее руководство проектом; **Митяшин Г. Ю.** — концептуализация, методология, проведение исследования, подготовка черновика; **Степанова Т. В.** — проведение исследования, вычитка и редактирование окончательного текста.
Conflict of interest	**Конфликт интересов**
The author declare no conflict of interest.	Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-397-402

Поступила 29.05.2023
Поступила после рецензирования 21.09.2023
Принята в печать 25.09.2023
© Кузнецова К. Г., Ситнов В. Ю., Рябухин Д. С., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Обзорная статья
Open access

ПЕРСПЕКТИВЫ ВКЛЮЧЕНИЯ СЪЕДОБНЫХ НАСЕКОМЫХ В СОСТАВ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Кузнецова К. Г., Ситнов В. Ю., Рябухин Д. С.*

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок, Санкт-Петербург, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
энтомофагия, мука из насекомых, обогащение продуктов питания, большой мучной хрущак, сверчок домовой, съедобные насекомые, хлебобулочные и бакалейные изделия

АННОТАЦИЯ

Использование насекомых в качестве альтернативного источника белка считается перспективной стратегией развития сельского хозяйства, способствующей решению проблем обеспечения продовольствием населения планеты. Введение насекомых как сырьевого ресурса в существующие пищевые системы позволяет обогатить продукты ценными питательными веществами и улучшить их качественные характеристики. Цель обзора заключается в оценке мировой регулирующей нормативной базы, в анализе рисков потребления пищевых продуктов нового типа, содержащих переработанных насекомых, а также в определении перспективных и рентабельных направлений рынков сбыта. Рассмотрена российская и европейская техническая документация, касающаяся производства и безопасности пищевой продукции, представлены традиционные методы обработки энтомологической биомассы для получения полуфабрикатов из насекомых. Показаны особенности обогащения некоторых пищевых продуктов мукой из насекомых и описаны изменения технологических параметров, улучшенных в результате подобных манипуляций. Несмотря на мировую тенденцию включения альтернативных пищевых ресурсов в диету людей, популярность продуктов из насекомых в России во многом зависит от осведомленности людей о пользе и вкусе таких продуктов, от уверенности населения в их безопасности, а также от поддержки со стороны правительства и бизнеса. Среди достоинств съедобных насекомых — выращивание их в местах компактного проживания населения без специальных требований к объемам земельных и водных ресурсов, а также их способность к переработке вторичных ресурсов, не задействованных в питании людей. Однако для реализации столь амбициозного плана по пересмотру пищевых привычек человечества необходимы более точные и надежные исследования методов контроля и предупреждения фальсификации продукции с включением насекомых.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS2022–0017 и № FGUS2022–0018 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 29.05.2023
Accepted in revised 21.09.2023
Accepted for publication 25.09.2023
© Kuznetsova K. G., Sitnov V. Yu., Ryabukhin D. S., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Review article
Open access

PROSPECTS FOR INCLUDING EDIBLE INSECTS INTO THE FOOD COMPOSITION

Kseniia G. Kuznetsova, Veniamin Yu. Sitnov, Dmitry S. Ryabukhin*

All-Russia Research Institute for Food Additives, St. Petersburg, Russia

KEY WORDS:
entomophagy, insect meal, food enrichment, mealworm larvae, house cricket, edible insects, bakery and groceries

ABSTRACT

The use of insects as an alternative protein source is considered a promising strategy for the agricultural development that facilitates solution to the problem of feeding the world's population. Introduction of insects as a raw material resource into the existing food systems allows enriching products with valuable nutrients and improving their quality characteristics. The review aims at assessment of the world regulatory normative base, analysis of the risks linked with consumption of the new type of foods containing processed insects and determination of promising and profitable directions for sales markets. The paper considers Russian and European technical documentation related to food production and safety, presents traditional methods for processing of entomological biomass to produce semi-finished products from insects, shows specific features of enrichment of certain food products with insect meal and describes changes in the technological parameters improved as a result of these manipulations. Despite the world trend toward inclusion of alternative food resources into human diets, popularity of products from insects in Russia largely depends on public awareness about benefits and taste of such products, public confidence in their safety and support from the government and business. Among advantages of edible insects is their growing in the areas of compact settlement without specific requirements for volumes of land and water resources, as well as their ability to process secondary resources that are not used in human nutrition. However, to realize such an ambitious plan on revision of human food habits, more accurate and reliable studies of control methods and prevention of adulteration of products with insects are necessary.

FUNDING: The article was published as part of the research topics No. FGUS2022–0017 and No. FGUS2022–0018 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Питание населения является неотъемлемым фактором, влияющим на продолжительность и качество жизни граждан старшего поколения. В настоящее время среди населения Российской Федерации и других стран наблюдаются тенденции развития алиментарно-зависимых заболеваний. И многие заболевания, которые в прошлом считались возрастными, проявляются у молодого поколения. Это снижает качество жизни, работоспособность, вызывает финансовые и экономические проблемы у граждан и государства в целом [1,2].

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Кузнецова, К. Г., Ситнов, В. Ю., Рябухин, Д. С.** (2023). Перспективы включения съедобных насекомых в состав продуктов питания. *Пищевые системы*, 6(3), 397-402. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-397-402

FOR CITATION: **Kuznetsova, K. G., Sitnov, V. Yu., Ryabukhin, D. S.** (2023). Prospects for including edible insects into the food composition. *Food Systems,* 6(3), 397-402. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-397-402

В связи с этим в мире все большее распространение получает использование альтернативных ресурсов в качестве пищевых продуктов для обеспечения продовольственной безопасности. Возникает необходимость поиска альтернативных источников белка, к которым относят микроводоросли, бактерии, дрожжи, а также некоторые виды насекомых для обеспечения продовольственной безопасности [3,4]. Регламент Европейского Союза (ЕС) № 2015/2283 [5] определяет условия производства и реализации продуктов из этих ингредиентов.

Употребление в пищу насекомых или продуктов из них называется энтомофагией. После публикации в 2013 году Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций отчета о съедобных насекомых в качестве пищи и корма [6], Регламента Европейского Союза 2015/2283 о новых пищевых продуктах растет число научных публикаций, посвященных изучению принятия энтомофагии европейским потребителем [5].

В последние десятилетия наблюдается существенный интерес среди научного сообщества, бизнеса, а также средств массовой информации к использованию насекомых в пищу, особенно людьми [7,8].

По прогнозам, к 2030 году мировой рынок съедобных насекомых достигнет 9,60 млрд долларов при среднегодовом темпе роста в 28,3% в течение прогнозируемого периода. Наибольший рост развития рынка насекомых наблюдается в Северной Америке и странах Азиатско-Тихоокеанского региона [9].

Цель статьи — проанализировать влияние ингредиентов из насекомых в качестве альтернативного источника белка на хлебобулочные и бакалейные изделия, выявить риски для здоровья человека при потреблении пищевых продуктов на основе муки из насекомых, а также рассмотреть механизм вывода продуктов питания нового вида на рынок.

2. Объекты и методы

Среди публикаций в международной наукометрической базе Scopus наблюдается рост числа исследовательских работ по данной теме (Рисунок 1). Количество публикаций по запросу edible insects в базе данных увеличилось на 43% с 2017 года.

Объектами исследований являлись зарубежные научные и обзорные публикации в области обогащения традиционных продуктов питания мукой из личинок большого мучного хрущака (*Tenebrio molitor*) и сверчка домового (*Acheta domesticus*). Также в данной работе рассмотрены российские и европейские технические документы в области производства и безопасности пищевой продукции. Для составления настоящего обзора применены следующие методы исследования: мониторинг, анализ, систематизация научной и технической информации и обобщение полученных результатов. Для анализа публикаций использовались наиболее цитируемые источники за последние 5 лет.

3. Включение насекомых в продукты питания

3.1. Методы обработки биомассы насекомых

Традиционно методы предварительной обработки энто-биомассы зависят от требований назначения конечного продукта [10]. Наиболее распространенным продуктом обработки энтомологической биомассы является мука из насекомых. Принципиальная блок-схема получения муки из насекомых представлена на Рисунке 2.

Процесс переработки биомассы начинается с предварительной стадии голодания живых насекомых. Рекомендуемый период, необходимый для очистки ЖКТ от продуктов пищеварения, составляет от 24 до 48 часов. [11]. Далее проводится стадия обработки низкими температурами для умерщвления колонии (при температуре 5 °C в течение 8 дней), что приводит к снижению общего микробного числа всех микроорганизмов, особенно дрожжей и общих анаэробных мезофильных спорообразующих бактерий [12]. На следующем этапе биомассу бланшируют в кипящей воде (98 °C) в течение 1–4 минут или стерилизуют соляным раствором (5% NaCl, 15 минут, при температуре 120 °C) [13].

После бланширования следует стадия сушки. Самым распространенным методом является конвекционная механическая сушка за 24 ч при температуре 55–60 °C [14]. Высушенную биомассу измельчают

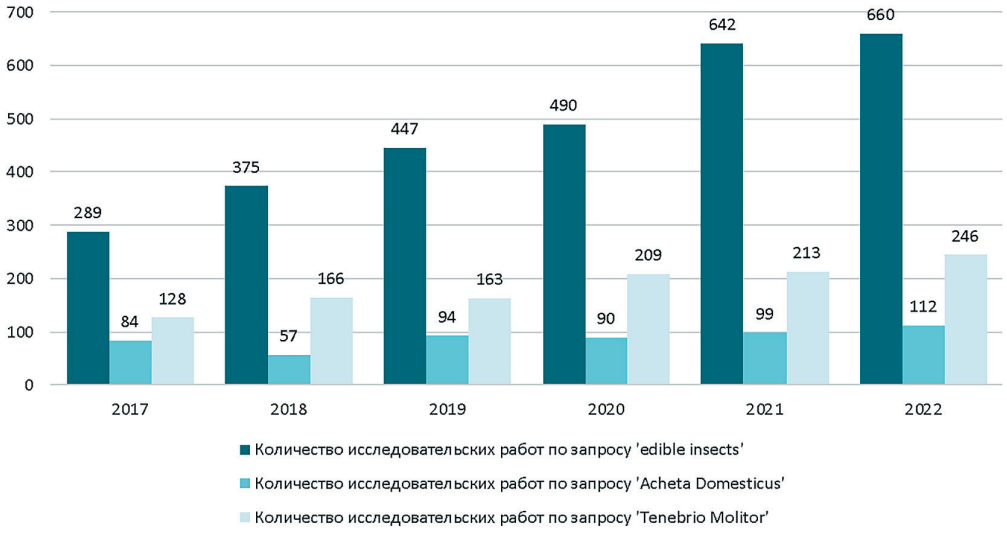


Рисунок 1. **Количество исследовательских работ по заданным ключевым словам**
Figure 1. **The number of research papers for the given keywords**

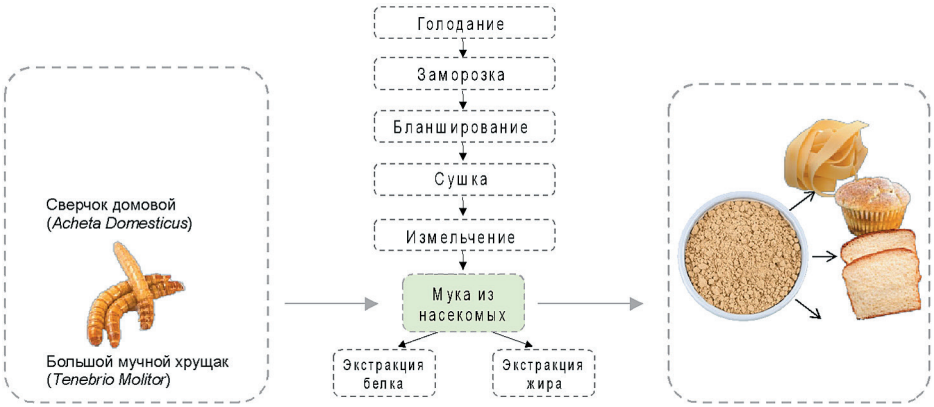


Рисунок 2. **Принципиальная блок-схема процесса обработки энтомологической биомассы**
Figure 2. **Basic block diagram of processing entomological biomass**

до размера частиц 0,25 мм. На данном этапе мука из насекомых может использоваться для обогащения продуктов питания.

3.2. Пищевая безопасность продуктов, обогащенных съедобными насекомыми

Одной из основных проблем, ограничивающих распространение энтомофагии, является возможная аллергенность данных продуктов [15]. У членистоногих зарегистрировано 239 индивидуальных аллергенов, в соответствии с требованиями Подкомитета ВОЗ по номенклатуре аллергенов и Международного союза иммунологических обществ. Это преимущественно паналлергенные белки: мышечные (миозин, актин, тропонин С), клеточные (тубулин), циркулирующие (например, гемоцианин, дефензин) и ферменты (аргининкиназа, триозофосфатизомераза, α-амилаза, трипсин, гиалуронидаза).

В ряде публикаций подтверждается вероятность возникновения пищевой аллергии на насекомых у людей с аллергической реакцией на ракообразных [16]. Этот эффект подтвержден в исследованиях перекрестной реактивности личинок большого мучного хрущака (*Tenebrio molitor*) и сверчка двухпятнистого (*Gryllus bimaculatus*) у пациентов с аллергией на клещей, ракообразных и креветок. В обоих случаях тропомиозин и аргининкиназа идентифицированы как перекрестно-реактивные белки [17]. Вполне возможно, что люди с аллергией на ракообразных и клещей также испытывают реакцию на продукты, содержащие личинки мучного хрущака или сверчка.

Правила ЕС по маркировке продуктов питания определяют список из 14 аллергенов, информация о которых должна отображаться на упаковке (например, яйца, молоко, рыба, ракообразные и так далее) для информирования людей с пищевыми ограничениями. Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов EFSA (The European Food Safety Authority) пришло к выводу, что потребление протеинов насекомых потенциально может привести к аллергическим реакциям у людей с аллергией на ракообразных, пылевых клещей и в некоторых случаях моллюсков [18].

3.3. Требования Европейского законодательства в области съедобных насекомых

В настоящее время в международном руководстве по безопасности пищевых продуктов Codex Alimentarius [19], а также в Техническом регламенте Таможенного союза (ТРТС) 021/2011 [20] насекомые упоминаются только как «примеси». Такой правовой статус представляет ключевое препятствие для развития данной индустрии, поскольку он ограничивает или замедляет рост глобального рынка пищевых насекомых.

Цельные съедобные насекомые и продукты из них уже легально представлены в розничной продаже в странах ЕС. Чтобы прийти к этому, необходимо пройти ряд процедур, включающих подачу заявки в комиссию по безопасности, а также прохождение оценки соответствия выводимого на рынок продукта требованиям Европейского управления по безопасности пищевых продуктов. При положительном заключении съедобные насекомые и продукты из них попадают под законодательство о новых продуктах питания и регулируются Регламентом (ЕС) 2015/2283 [5]. Такую заявку на получение статуса нового продукта питания может подать организация — первичный производитель настоящего продукта из насекомых. В Таблице 1 представлены компании-производители, виды насекомых и список разрешенных продуктов из них, которые уже используются в качестве пищевых ингредиентов, согласно актуальной информации на май 2023 года [18, 21].

Таблица 1. **Список продуктов из насекомых, разрешённых в употребление в пищу в ЕС**

Table 1. **List of insect products authorized as novel food in the EU**

Компания	Насекомое	Форма выпускаемого продукта
Protix (Нидерланды)	• Большой мучной хрущак (*Tenebrio molitor)* • Сверчок домовой (*Acheta domesticus*) • Перелетная саранча (*Lokusta migratora*)	• Замороженный • Высушенный • Измельченный
Cricket One (Франция)	• Сверчок домовой (*Acheta domesticus)*	• Частично обезжиренная мука
Agronutris (Франция)	• Большой мучной хрущак (*Tenebrio molitor)*	• Сушеный
Ynsect (Франция)	• Сверчок домовой (*Acheta domesticus*) • Малый мучной хрущак (*Tribolium confusum*)	• Замороженные • Пастообразные • Высушенные • Измельченные

3.4. Перспективы распространения продукции с добавлением съедобных насекомых

В европейских странах отсутствуют традиции приготовления пищи из насекомых, что существенно ограничивает их кулинарное использование [22]. Однако в Германии и Франции для ферментации сыра Milbenkäse используют сырных клещей (*Tyrophagus casei*) для ферментации некоторых особых сортов с характерным лимонным вкусом.

В последние годы кулинарные книги о насекомых, телешоу, продовольственные ярмарки и выставки стремились к популяризации энтомофагии [23,24]. Другие стратегии состоят в продвижении насекомых в качестве альтернативы снекам, поскольку они имеют схожие характеристики, такие как текстура, содержание макронутриентов и вкус.

Факторы, влияющие на выбор продукции из насекомых:

- ❑ привлекательный внешний вид;
- ❑ приятный вкус;
- ❑ невысокая стоимость.

В меньшей степени потребители обращают внимание на экологическую устойчивость пищевых продуктов и на высокое качество белка. Усилия производителей продуктов с мукой из насекомых должны быть направлены на доведение до сведения потребителей информации о преимуществах настоящих пищевых продуктов.

Целевую аудиторию для данного вида альтернативной продукции составят люди, следящие за питанием, которые находятся в постоянном поиске новых источников белка [23,25]. Однако нынешняя относительно высокая стоимость съедобных насекомых по сравнению с другими источниками белков животного и растительного происхождения является важным экономическим барьером для расширения рынка [26].

Некоторые исследователи проанализировали приемлемость пищевых продуктов, содержащих насекомых, в разных странах. Авторы пришли к выводу, что предоставление информации о пользе употребления пищевых продуктов, обогащенных ингредиентами из насекомых, положительно повлияет на популяризацию этих продуктов [27,28].

3.5. Анализ продукции, обогащенной мукой из насекомых

Наиболее многообещающим является подход к использованию съедобных насекомых в привычных пищевых продуктах в качестве компонента рецептуры [29–31]. Пищевые продукты, обогащенные мукой из насекомых, такие как макаронные, хлебобулочные изделия и различные снеки, будут лучше восприниматься потребителями и позволят им получить новый гастрономический опыт.

3.5.1. Хлебобулочные изделия, обогащенные мукой из насекомых

Включение муки из насекомых в рецептуру хлеба придает изделию более темный цвет и специфический запах, что часто негативно влияет на восприятие продукта [32]. Поскольку ингредиенты из насекомых не содержат глютен, то частичная замена пшеничной муки пропорционально снижает содержание глютена, напрямую влияя на текстуру и вызывая снижение упругости и пластичности макаронных изделий.

В другом исследовании [33] разработана рецептура маффинов с частичной заменой пшеничной муки продуктом из насекомых в концентрациях 2%, 5%, 10%. Полученные образцы проходили органолептическую оценку, как и контрольные образцы. В рецептуре маффинов пшеничная мука была заменена на 2, 5 и 10% муки насекомых. Образцы с 2% и 5% обогащения получили достаточно высокую органолептическую оценку по сравнению с контролем. Продукты с содержанием 2, 5, 10% и контроль получили соответственно 7,1; 7,0; 6,9 и 6,2 балла по гедонистической шкале приемлемости, где минимальный балл — 1, а максимальный — 9. Оценивали внешний вид, текстуру, вкус и аромат.

В статье [34] исследовано частичное замещение пшеничной муки продуктом из личинок большого мучного хрущака при приготовлении теста для печений. Было установлено, что использование муки из личинок большого мучного хрущака в концентрации от 5% до 15% значительно увеличивает питательную ценность продукта, не оказывая отрицательного влияния на его органолептические свойства.)

В другой работе авторы рассматривали технологические показатели овсяного печенья, обогащенного мукой из насекомых [35]. В ходе исследования были приготовлены образцы овсяного печенья, обогащенного ингредиентами из насекомых в следующих концентрациях: 5%, 10% и 15% муки из сверчка домового. Авторами было выявлено повышенное содержание белка на 18,35%, 36,81% и 55,16% соответственно по сравнению с контролем. В публикации подтверждена возможность использования ингредиентов из насекомых для повышения питательной ценности пищевых продуктов. Все рассматриваемые концентрации муки из насекомых приемлемы, однако

добавление не более 10% муки насекомых не влияет негативным образом на органолептические свойства продуктов, напротив, даже способствует их улучшению. Хлебобулочные изделия, маффины и печенье являются предпочтительными продуктами для включения ингредиентов из насекомых [36,37].

3.5.2. Макаронные изделия

Включение различного сырья (растительного, энтомологического и др.) в макаронные изделия из пшеницы влияет на качество, питательную ценность и органолептические характеристики [38].

Авторы публикаций оценивают концентрацию белка в продуктах, время приготовления, потери при варке, уровень водопоглощения, увеличение веса, а также органолептические показатели. В целом, обогащение макаронных изделий от 5 до 15% муки добавкой из насекомых приемлемо для потребителей. Авторы отмечают потемнение образцов, содержащих ингредиенты из насекомых, и увеличение времени варки [39–41]. Проведена оценка качества готовых макаронных изделий с добавлением муки из сверчка домового потребителями. Установлено, что обогащение продуктов питания мукой из сверчка домового в количестве 5% вызывает увеличение содержания белка, жира и минеральных веществ по сравнению с традиционными макаронными изделиями. Добавление муки из сверчка домового привело к снижению веса и потерь при варке, а также к увеличению времени варки. Также образцы характеризовались более высокой твердостью, чем эталонные, что в сочетании с более низкими значениями потерь при варке свидетельствует о сравнительно высоком качестве продукта. Добавление муки из сверчка домового привело к изменению питательной ценности макаронных изделий: содержание белка увеличилось примерно с 10% до 17%.

Включение съедобных насекомых в макаронные изделия уменьшало содержание крахмала в конечном продукте. Обогащенный продукт (с 15% добавлением муки из насекомых) содержал вдвое больше сырой клетчатки, чем в контроле. Цвет макаронных изделий также значительно изменился после обогащения мукой из насекомых; в частности, уменьшилась желтизна макаронных изделий и наблюдалось потемнение образцов. Органолептическая оценка показала, что частичная замена пшеничной муки добавкой из насекомых снижает сенсорные характеристики макаронных изделий, такие как цвет, запах и текстура продукта [42].

В статье [43] рассмотрено влияние физико-химических параметров макаронных изделий с замещением пшеничной муки на муку из личинок большого мучного хрущака и сверчка домового. В ходе приготовления макаронных изделий с добавкой из насекомых изменился цвет образцов; более темный цвет обусловлен ферментативными реакциями потемнения. Авторы отмечают большие потери при варке образцов, обогащенных добавкой из насекомых, по сравнению с контролем, что может быть обусловлено наличием гидрофильных аминокислот в исследуемых образцах. Помимо улучшения аминокислотного профиля образцов, авторы отмечают, что текстурные особенности макаронных изделий были удовлетворительными. Органолептическая оценка не проводилась.

Обогащение макаронных изделий ингредиентами из насекомых повышает их питательную ценность: показывает более высокое содержание белков и жиров и пониженное содержание углеводов. Такое обогащение, однако, часто оказывает негативное влияние на качество макаронных изделий с точки зрения более высоких потерь при варке и снижения органолептической приемлемости. Отмечалось появление специфического запаха, а также увеличение времени варки на 2–3 минуты.

3.5.3. Экструдированные снеки

В статье [44] описано использование белковой добавки из насекомых в качестве альтернативного источника белка и минералов в экструдированных закусках. Такой ингредиент является инновационным предложением с технической, физико-химической и питательной точек зрения, так как увеличивает содержание белка, и микроэлементов в конечном продукте. Авторы отмечают, что на физико-химические свойства экструдатов не оказывало сильного влияния добавление муки из насекомых.

Для повышения заинтересованности потребителей в продуктах, содержащих ингредиенты из насекомых, авторами была предложена современная технология получения снеков с помощью печати на 3D-принтере [45]. Технология 3D-печати применена для создания снеков, приготовленных из пшеничной муки, обогащенной съедобными насекомыми в качестве нового источника белков. Напечатанные снеки воспроизводили общую структуру разработанного объекта с достаточной точностью. Однако добавление различного количества муки из измельченных личинок большого мучного хрущака (*Tenebrio molitor*) влияло на морфологические и микроструктурные свойства сырых снеков. Обогащенное тесто было более мягким, что приводило к избыточному осаждению во время печати, в результате чего вес и диаметр изделия увеличивались, а высота сырых снеков уменьшалась. Во время выпечки уменьшение размера снеков было вызвано в основном потерей воды, тем не менее обогащение теста насекомыми снизило этот эффект. Аминокислотный профиль снеков изменялся в зависимости от количества добавленной муки из насекомых. Вместе с пшеничной мукой измельченный мучной хрущак является подходящим ингредиентом для производства 3D-печатных продуктов питания со специфическим дизайном и улучшенным питательным качеством без негативного влияния на технологические параметры процесса. Продукты для перекуса станут полезной альтернативой традиционным видам снеков, сохраняя физико-химические характеристики и улучшая их питательные свойства.

4. Заключение

Показатели качества продуктов питания не изменяются при частичном замещении ингредиентов компонентами из съедобных насекомых до 15% от общей массы основных составляющих пищевой системы. Наиболее эффективно удается добавлять измельченную энтомологическую массу в такие продукты, как макаронные и хлебобулочные изделия, снеки, разнообразные закуски и энергетические батончики. Такие насекомые, как большой мучной хрущак и домовой сверчок, отлично сочетаются с мукой основных злаковых приводя к повышению содержания общего белка в готовой продукции и снижая в ней количество крахмала. Концентрации от 2 до 15% массовой доли несущественно влияют на органолептическую оценку, оставаясь на вполне удовлетворительном уровне. Однако наблюдается потемнение образцов и появление специфического запаха. Также отмечалось увеличение времени варки макаронных изделий и повышение твердости образцов. Для снеков и хлебобулочных изделий было характерно изменение упругости и твердости образцов. При замещении 2–10% злаковой муки порошком из насекомых наблюдалось повышение питательной ценности продукции.

Некоторые аспекты безопасности пищевых продуктов с добавлением съедобных насекомых, а также методы выращивания и первичной обработки энтомологической биомассы нуждаются в постоянном совершенствовании. Любые продукты, содержащие насекомых, должны иметь маркировку потенциальном риске возникновения аллергической реакции на входящие в состав компоненты.

Для развития отрасли съедобных насекомых и с целью повышения потребительского интереса необходимо проведение дополнительных исследований данной продукции нового вида, особенно с учетом органолептических показателей у готовых изделий. Однако популярность продуктов из насекомых в России во многом зависит от осведомленности населения и от уверенности людей в пользе, вкусе и безопасности такой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. FAO (2013). Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation. Rome: FAO, 2013 Электронный ресурс http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf Дата доступа 1.05.2023
2. Троцюк, Д. В., Медведев, Д. С., Макаренко, С. В., Юшкова, И. Д., Лапотников, А. В. (2020). Белково-энергетическая недостаточность у лиц пожилого и старческого возраста. *Современные проблемы науки и образования*, 2, 163–163. https://doi.org/10.17513/spno.29629
3. Grossmann, L., Weiss, J. (2021). Alternative protein sources as technofunctional food ingredients. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12, 93–117. https://doi.org/10.1146/annurev-food-062520–093642
4. Matassa, S., Boon, N., Pikaar, I., Verstraete, W. (2016). Microbial protein: Future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microbial Biotechnology*, 9(5), 568–575. https://doi.org/10.1111%2F1751–7915.12369
5. Regulation (EU) 2015/2283 on novel foods (2021). Электронный ресурс https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32015R2283 Дата доступа 19.04.2023
6. Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. et al. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security. FAO Forest Paper 171. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, Italy, 2013.

7. Payne, C., Caparros Megido, R., Dobermann, D., Frédéric, F., Shockley, M., Sogari, G. (2019). Insects as food in the global north–the evolution of the entomophagy movement. Chapter in a book: Edible Insects in the Food Sector. Springer, Cham, 2019. http://doi.org/10.1007/978–3–030–22522–3_2
8. Edible insects market by product (whole insect, insect powder, insect meal, insect oil) insect type (crickets, black soldier fly, mealworms), application (animal feed, protein bar and shakes, bakery, confectionery, beverages) — Forecast to 2032. (2020). Meticulous Market Research Pvt. Ltd., India. Электронный ресурс https://www.meticulousresearch.com/product/edible-insects-market-5156 Дата доступа 20.05.2023
9. El Hajj, R., Mhemdi, H., Besombes, C., Allaf, K., Lefrançois, V., Vorobiev, E. (2022). Edible insects' transformation for feed and food uses: An overview of current insights and future developments in the field. *Processes*, 10(5), Article 970. https://doi.org/10.3390/pr10050970
10. Garofalo, C., Milanović, V., Cardinali, F., Aquilanti, L., Clementi, F., Osimani, A. (2019). Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Research International*, 125, Article 108527. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108527
11. Costa, S., Pedro, S., Lourenço, H., Batista, I., Teixeira, B., Bandarra, N.M. et al. (2020). Evaluation of *Tenebrio molitor* larvae as an alternative food source. *Nutritional and Food Science Journal*, 21, 57–64. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.10.001
12. Melgar-Lalanne, G., Hernández-Álvarez, A.J., Salinas-Castro, A. (2019). Edible insects processing: Traditional and innovative technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1166–1191. https://doi.org/10.1111/1541–4337.12463
13. Kroncke, N., Böschen, V., Woyzichovski, J., Demtröder, S., Benning, R. (2018). Comparison of suitable drying processes for mealworms (*Tenebrio molitor*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 50, 20–25. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.009
14. Schlüter, O., Rumpold, B., Holzhauser, T., Roth, A., Vogel, R. F., Quasigroch, W. et al. (2017). Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61(6), Article 1600520. https://doi.org/10.1002/mnfr.201600520
15. Kamemura, N., Sugimoto, M., Tamehiro, N., Adachi, R., Tomonari, S., Watanabe, T. et al. (2019). Cross-allergenicity of crustacean and the edible insect Gryllus bimaculatus in patients with shrimp allergy. *Molecular Immunology*, 106, 127–134. https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.12.015
16. de Gier, S., Verhoeckx, K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*, 100, 82–106. https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.015
17. Nongonierma, A. B., FitzGerald, R. J. (2017). Unlocking the biological potential of proteins from edible insects through enzymatic hydrolysis: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 43, 239–252. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.014
18. International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF). (2023). Insects as novel foods — an overview. Электронный ресурс https://ipiff.org/insects-novel-food-eu-legislation Дата доступа 19.04.2923
19. FAO and WHO (2019). Codex Alimentarius Commission — Procedural Manual twenty-seventh edition. Rome.
20. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Электронный ресурс https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/6ad/TR-TS-PishevayaProd.pdf Дата доступа 19.04.2023
21. Baiano, A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science and Technology*, 100, 35–50. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040
22. Brückner, A., Heethoff, M. (2016). Scent of a mite: Origin and chemical characterization of the lemon-like flavor of mite-ripened cheeses. *Experimental and Applied Acarology*, 69, 249–261. https://doi.org/10.1007/s10493–016–0040–7
23. Shelomi, M. (2015). Why we still don't eat insects: Assessing entomophagy promotion through a diffusion of innovations framework. *Trends in Food Science and Technology*, *45*(2), 311–318. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.06.008
24. Hartmann, C., Siegrist, M. (2016). Becoming an insectivore: Results of an experiment. *Food Quality and Preference*, 51, 118–122. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.03.003
25. Pippinato, L., Gasco, L., Di Vita, G., Mancuso, T. (2020). Current scenario in the European edible-insect industry: A preliminary study. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(4), 371–381. https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0008
26. Menozzi, D., Sogari, G., Veneziani, M., Simoni, E., Mora, C. (2017). Eating novel foods: An application of the Theory of Planned Behaviour to predict the consumption of an insect-based product. *Food Quality and Preference*, 59, 27–34. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.02.001
27. Barsics, F., Caparros Megido, R., Brostaux, Y., Barsics, C., Blecker, C., Haubruge, E. et al. (2017). Could new information influence attitudes to foods supplemented with edible insects? *British Food Journal*, 119(9), 2027–2039. https://doi.org/10.1108/BFJ-11–2016–0541
28. Lombardi, A., Vecchio, R., Borrello, M., Caracciolo, F., Cembalo, L. (2019). Willingness to pay for insect-based food: The role of information and carrier. *Food Quality and Preference*, 72, 177–187. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.10.001
29. van Thielen, L., Vermuyten, S., Storms, B., Rumpold, B. A., van Campenhout, L. (2018). Consumer acceptance of foods containing edible insects in Belgium two years after their introduction to the market. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(1), 35–44. https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0075
30. Tan, H. S. G., Verbaan, Y. T., Stieger, M. (2017). How will better products improve the sensory-liking and willingness to buy insect-based foods? *Food Research International*, 92, 95–105. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.021
31. Sogari, G., Menozzi, D., Mora, C. (2019). The food neophobia scale and young adults' intention to eat insect products. *International Journal of Consumer Studies*, 43(1), 68–76. https://doi.org/10.1111/ijcs.12485
32. da Rosa Machado, C., Thys, R. C. S. (2019). Cricket powder (Gryllus assimilis) as a new alternative protein source for gluten-free breads. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 56, Article 102180. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102180
33. Pauter, P., Różańska, M., Wiza, P., Dworczak, S., Grobelna, N., Sarbak, P. et al. (2018). Effects of the replacement of wheat flour with cricket powder on the characteristics of muffins. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 17(3), 227–233. https://doi.org/10.17306/J.AFS.2018.0570
34. Xie, X., Yuan, Z., Fu, K., An, J., Deng, L. (2022). Effect of partial substitution of flour with mealworm (Tenebrio molitor L.) powder on dough and biscuit properties. *Foods*, 11(14), Article 2156. https://doi.org/10.3390/foods11142156
35. Biró, B., Sipos, M. A., Kovács, A., Badak-Kerti, K., Pásztor-Huszár, K., Gere, A. (2020). Cricket-enriched oat biscuit: Technological analysis and sensory evaluation. *Foods*, 9(11), Article 1561. https://doi.org/10.3390/foods9111561
36. Çabuk, B. (2021). Influence of grasshopper (Locusta Migratoria) and mealworm (Tenebrio Molitor) powders on the quality characteristics of protein rich muffins: Nutritional, physicochemical, textural, and sensory aspects. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(4), 3862–3872. https://doi.org/10.1007/s11694–021–00967-x
37. Pasini, G., Cullere, M., Vegro, M., Simonato, B., Dalle Zotte, A. (2022). Potentiality of protein fractions from the house cricket (Acheta domesticus) and yellow mealworm (Tenebrio molitor) for pasta formulation. *LWT*, 164, Article 113638. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113638
38. Nilusha, R. A. T., Jayasinghe, J. M. J. K., Perera, O. D. A. N., Perera, P. I. P. (2019). Development of pasta products with nonconventional ingredients and their effect on selected quality characteristics: A brief overview. *International Journal of Food Science*, 2019, Article 6750726. https://doi.org/10.1155/2019/6750726
39. Dziki, D. (2021). Current trends in enrichment of wheat pasta: Quality, nutritional value and antioxidant properties. *Processes*, 9(8), Article 1280. https://doi.org/10.3390/pr9081280
40. Biernacka, B., Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., Różyło, R. (2021). Common wheat pasta enriched with cereal coffee: Quality and physical and functional properties. *LWT*, 139, Article 110516. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110516
41. Duda, A., Adamczak, J., Chełmińska, P., Juszkiewicz, J., Kowalczewski, P. (2019). Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. *Foods*, 8(2), Article 46. https://doi.org/10.3390/foods8020046
42. García-Segovia, P., Igual, M., Noguerol, A. T., Martínez-Monzó, J. (2020). Use of insects and pea powder as alternative protein and mineral sources in extruded snacks. *European Food Research and Technology*, 246(4), 703–712. https://doi.org/10.1007/s00217–020–03441-y
43. Borges, M. M., da Costa, D. V., Trombete, F. M., Câmara, A. K. F. I. (2022). Edible insects as a sustainable alternative to food products: An insight into quality aspects of reformulated bakery and meat products. *Current Opinion in Food Science*, 46, Article 100864. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100864
44. Kowalski, S., Mikulec, A., Mickowska, B., Skotnicka, M., Mazurek, A. (2022). Wheat bread supplementation with various edible insect flours. Influence of chemical composition on nutritional and technological aspects. *LWT*, 159, Article 113220. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113220
45. Severini, C., Azzollini, D., Albenzio, M., Derossi, A. (2018). On printability, quality and nutritional properties of 3D printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Research International*, 106, 666–676. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.034

REFERENCES

1. FAO (2013). Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation. Rome: FAO, 2013 Retrieved from http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf Accessed May 1, 2023
2. Trotsyuk, D. V., Medvedev, D. S., Makarenko, S. V., Yushkova, I. D., Lapotnikov, A. V. (2020). Protein-energy malnutrition in elderly people. *Modern Problems of Science and Education*, 2, 163–163. https://doi.org/10.17513/spno.29629 (In Russian)
3. Grossmann, L., Weiss, J. (2021). Alternative protein sources as technofunctional food ingredients. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12, 93–117. https://doi.org/10.1146/annurev-food-062520–093642
4. Matassa, S., Boon, N., Pikaar, I., Verstraete, W. (2016). Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microbial biotechnology*, 9(5), 568–575. https://doi.org/10.1111%2F1751–7915.12369
5. Regulation (EU) 2015/2283 on novel foods (2021). Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32015R2283 Accessed April 19, 2023
6. Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. et al. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security. FAO Forest Paper 171. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, Italy, 2013.
7. Payne, C., Caparros Megido, R., Dobermann, D., Frédéric, F., Shockley, M., Sogari, G. (2019). Insects as food in the global north–the evolution of the entomophagy movement. Chapter in a book: Edible Insects in the Food Sector. Springer, Cham. http://doi.org/10.1007/978–3–030–22522–3_2
8. Edible insects market by product (whole insect, insect powder, insect meal, insect oil) insect type (crickets, black soldier fly, mealworms), application (animal feed, protein bar and shakes, bakery, confectionery, beverages) — Forecast to 2032. (2020). Meticulous Market Research Pvt. Ltd., India. Retrieved from https://www.meticulousresearch.com/product/edible-insects-market-5156 Accessed May 20, 2023.
9. El Hajj, R., Mhemdi, H., Besombes, C., Allaf, K., Lefrançois, V., Vorobiev, E. (2022). Edible insects' transformation for feed and food uses: An overview of current insights and future developments in the field. *Processes*, 10(5), Article 970. https://doi.org/10.3390/pr10050970
10. Garofalo, C., Milanović, V., Cardinali, F., Aquilanti, L., Clementi, F., Osimani, A. (2019). Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Research International*, 125, Article 108527. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108527
11. Costa, S., Pedro, S., Lourenço, H., Batista, I., Teixeira, B., Bandarra, N. M. et al. (2020). Evaluation of *Tenebrio molitor* larvae as an alternative food source. *Nutritional and Food Science Journal*, 21, 57–64. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.10.001
12. Melgar-Lalanne, G., Hernández-Álvarez, A. J., Salinas-Castro, A. (2019). Edible insects processing: Traditional and innovative technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1166–1191. https://doi.org/10.1111/1541–4337.12463
13. Kroncke, N., Böschen, V., Woyzichovski, J., Demtröder, S., Benning, R. (2018). Comparison of suitable drying processes for mealworms (*Tenebrio molitor*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 50, 20–25. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.009

14. Schlüter, O., Rumpold, B., Holzhauser, T., Roth, A., Vogel, R. F., Quasigroch, W. et al. (2017). Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61(6), Article 1600520. https://doi.org/10.1002/mnfr.201600520
15. Kamemura, N., Sugimoto, M., Tamehiro, N., Adachi, R., Tomonari, S., Watanabe, T. et al. (2019). Cross-allergenicity of crustacean and the edible insect Gryllus bimaculatus in patients with shrimp allergy. *Molecular Immunology*, 106, 127–134. https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.12.015
16. de Gier, S., Verhoeckx, K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*, 100, 82–106. https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.015
17. Nongonierma, A. B., FitzGerald, R. J. (2017). Unlocking the biological potential of proteins from edible insects through enzymatic hydrolysis: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 43, 239–252. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.014
18. International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF) (2023). Insects as novel foods — an overview. Retrieved from https://ipiff.org/insects-novel-food-eu-legislation April 19, 2023
19. FAO and WHO. (2019). Codex Alimentarius Commission — Procedural Manual twenty-seventh edition. Rome.
20. Technical regulation of the Customs Union TR CU021/2011 "On food safety". Retrieved from: https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/6ad/TR-TS-PishevayaProd.pdf Accessed April 19, 2023 (In Russian)
21. Baiano, A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science and Technology*, 100, 35–50. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040
22. Brückner, A., Heethoff, M. (2016). Scent of a mite: Origin and chemical characterization of the lemon-like flavor of mite-ripened cheeses. *Experimental and Applied Acarology*, 69, 249–261. https://doi.org/10.1007/s10493–016–0040–7
23. Shelomi, M. (2015). Why we still don't eat insects: Assessing entomophagy promotion through a diffusion of innovations framework. *Trends in food Science and Technology*, 45(2), 311–318. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.06.008
24. Hartmann, C., Siegrist, M. (2016). Becoming an insectivore: Results of an experiment. *Food Quality and Preference*, 51, 118–122. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.03.003
25. Pippinato, L., Gasco, L., Di Vita, G., Mancuso, T. (2020). Current scenario in the European edible-insect industry: a preliminary study. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(4), 371–381. https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0008
26. Menozzi, D., Sogari, G., Veneziani, M., Simoni, E., Mora, C. (2017). Eating novel foods: An application of the Theory of Planned Behaviour to predict the consumption of an insect-based product. *Food Quality and Preference*, 59, 27–34. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.02.001
27. Barsics, F., Caparros Megido, R., Brostaux, Y., Barsics, C., Blecker, C., Haubruge, E. et al. (2017). Could new information influence attitudes to foods supplemented with edible insects? *British Food Journal*, 119(9), 2027–2039. https://doi.org/10.1108/BFJ-11–2016–0541
28. Lombardi, A., Vecchio, R., Borrello, M., Caracciolo, F., Cembalo, L. (2019). Willingness to pay for insect-based food: The role of information and carrier. *Food Quality and Preference*, 72, 177–187. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.10.001
29. van Thielen, L., Vermuyten, S., Storms, B., Rumpold, B. A., van Campenhout, L. (2018). Consumer acceptance of foods containing edible insects in Belgium two years after their introduction to the market. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(1), 35–44. https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0075
30. Tan, H. S. G., Verbaan, Y. T., Stieger, M. (2017). How will better products improve the sensory-liking and willingness to buy insect-based foods? *Food Research International*, 92, 95–105. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.021
31. Sogari, G., Menozzi, D., Mora, C. (2019). The food neophobia scale and young adults' intention to eat insect products. *International Journal of Consumer Studies*, 43(1), 68–76. https://doi.org/10.1111/ijcs.12485
32. da Rosa Machado, C., Thys, R. C. S. (2019). Cricket powder (Gryllus assimilis) as a new alternative protein source for gluten-free breads. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 56, Article 102180. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102180
33. Pauter, P., Różańska, M., Wiza, P., Dworczak, S., Grobelna, N., Sarbak, P. et al. (2018). Effects of the replacement of wheat flour with cricket powder on the characteristics of muffins. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 17(3), 227–233. https://doi.org/10.17306/J.AFS.2018.0570
34. Xie, X., Yuan, Z., Fu, K., An, J., Deng, L. (2022). Effect of partial substitution of flour with mealworm (Tenebrio molitor L.) powder on dough and biscuit properties. *Foods*, 11(14), Article 2156. https://doi.org/10.3390/foods11142156
35. Biró, B., Sipos, M. A., Kovács, A., Badak-Kerti, K., Pásztor-Huszár, K., Gere, A. (2020). Cricket-enriched oat biscuit: Technological analysis and sensory evaluation. *Foods*, 9(11), Article 1561. https://doi.org/10.3390/foods9111561
36. Çabuk, B. (2021). Influence of grasshopper (Locusta Migratoria) and mealworm (Tenebrio Molitor) powders on the quality characteristics of protein rich muffins: Nutritional, physicochemical, textural, and sensory aspects. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(4), 3862–3872. https://doi.org/10.1007/s11694–021–00967-x
37. Pasini, G., Cullere, M., Vegro, M., Simonato, B., Dalle Zotte, A. (2022). Potentiality of protein fractions from the house cricket (Acheta domesticus) and yellow mealworm (Tenebrio molitor) for pasta formulation. *LWT*, 164, Article 113638. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113638
38. Nilusha, R. A. T., Jayasinghe, J. M. J. K., Perera, O. D. A. N., Perera, P. I. P. (2019). Development of pasta products with nonconventional ingredients and their effect on selected quality characteristics: A brief overview. *International Journal of Food Science*, 2019, Article 6750726. https://doi.org/10.1155/2019/6750726
39. Dziki, D. (2021). Current trends in enrichment of wheat pasta: Quality, nutritional value and antioxidant properties. *Processes*, 9(8), Article 1280. https://doi.org/10.3390/pr9081280
40. Biernacka, B., Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., Różyło, R. (2021). Common wheat pasta enriched with cereal coffee: Quality and physical and functional properties. *LWT*, 139, Article 110516. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110516
41. Duda, A., Adamczak, J., Chełmińska, P., Juszkiewicz, J., Kowalczewski, P. (2019). Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. *Foods*, 8(2), Article 46. https://doi.org/10.3390/foods8020046
42. García-Segovia, P., Igual, M., Noguerol, A. T., Martínez-Monzó, J. (2020). Use of insects and pea powder as alternative protein and mineral sources in extruded snacks. *European Food Research and Technology*, 246(4), 703–712. https://doi.org/10.1007/s00217–020–03441-y
43. Borges, M. M., da Costa, D. V., Trombete, F. M., Câmara, A. K. F. I. (2022). Edible insects as a sustainable alternative to food products: An insight into quality aspects of reformulated bakery and meat products. *Current Opinion in Food Science*, 46, Article 100864. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100864
44. Kowalski, S., Mikulec, A., Mickowska, B., Skotnicka, M., Mazurek, A. (2022). Wheat bread supplementation with various edible insect flours. Influence of chemical composition on nutritional and technological aspects. *LWT*, 159, Article 113220. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113220
45. Severini, C., Azzollini, D., Albenzio, M., Derossi, A. (2018). On printability, quality and nutritional properties of 3D printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Research International*, 106, 666–676. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.034

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Кузнецова Ксения Геннадьевна — младший научный сотрудник, лаборатория промышленных биотехнологических инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный проспект, 55 Тел.: +7–981–950–04–51 E-mail: k.kuznetsova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–5427–8532	**Kseniia G. Kuznetsova**, Junior Researcher, Laboratory of Industrial Biotechnological Innovations, All-Russia Research Institute for Food Additives 55, Liteyny Prospekt, St Petersburg, 191014, Russia Tel.: +7–981–950–04–51 E-mail: k.kuznetsova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–5427–8532
Ситнов Вениамин Юрьевич — директор, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный проспект, 55 Тел.: +7–812–272–22–19 E-mail: v.sitnov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–1927–1997	**Veniamin Yu. Sitnov**, Director, All-Russia Research Institute for Food Additives 55, Liteyny Prospekt, St Petersburg, 191014, Russia Tel.: +7–812–272–22–19 E-mail: v.sitnov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–1927–1997
Рябухин Дмитрий Сергеевич — кандидат химический наук, заведующий лабораторией промышленных биотехнологических инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный проспект, 55 Тел.: +7–812–272–22–19 E-mail: d.ryabukhin@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–5345–0038 * автор для контактов	**Dmitry S. Ryabukhin**, Candidate of Chemical Sciences, Head of Laboratory of Industrial Biotechnological Innovations, All-Russia Research Institute for Food Additives 55, Liteyny Prospekt, St Petersburg, 191014, Russia Tel.: +7–812–272–22–19 E-mail: d.ryabukhin@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–5345–0038 * corresponding author

Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-403-408

Received 22.06.2023
Accepted in revised 18.09.2023
Accepted for publication 21.09.2023
© El-Maksoud A.A.A., Hesarinejad M. A., Abedelmaksoud T. G., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

EXPLORING THE POTENTIAL OF SPROUTED SOYBEAN AND SESAME HULL TO INCREASE NUTRITIONAL VALUE OF ICE CREAM

Ahmed A. A. El-Maksoud[1], Mohammad A. Hesarinejad[2], Tarek G. Abedelmaksoud[3]*

[1] Dairy Science Department, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza, Egypt
[2] Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran
[3] Food Science Department, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza, Egypt

KEY WORDS:
sesame hull, sprouted soybean, fiber, nutritious ice cream

ABSTRACT

The study aimed to produce nutritionally enhanced ice cream by adding sprouted soybean (SSB) and sesame hulls (SH) at different concentrations to partially replace skimmed milk powder (SMP). The physicochemical, total phenolic content (TPC), antioxidant activity (AOA), and sensory acceptability of ice cream fortified with SSB or SH were evaluated. The ice cream containing 15% SSB was found to have the best sensory characteristics and was most preferred by the taste panel. The addition of 15% SSB increased the protein and fiber content and improved melting resistance, while the addition of 15% SH resulted in a greater increase in dietary fiber but lower protein content and melting resistance. The highest overrun on the cost was obtained in the sample fortified with 25% SSB compared to the lowest in the sample fortified with 25% SH, but panelists generally did not like these samples in terms of taste-flavor. The study concluded that the addition of SSB and SH to replace SMP in ice cream can create a nutritious and low-cost product with similar physicochemical properties and acceptance to the control.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors would like to thank food science and dairy departments for supporting this study.

Поступила 22.06.2023
Поступила после рецензирования 18.09.2023
Принята в печать 21.09.2023
© Абд Эль-Максуд А.А., Хайдаринеджад М. А., Абудельмаксуд, Т.Г., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПРОРОШЕННЫХ СОЕВЫХ БОБОВ И КУНЖУТНОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ МОРОЖЕНОГО

Эль-Максуд А.А.А.[1], Хайдаринеджад М. А.[2], Абедельмаксуд, Т.Г.[3]*

[1] Кафедра науки о молоке, Сельскохозяйственный факультет, Каирский университет, Гиза, Египет
[2] Кафедра пищевой промышленности, Научно-исследовательский институт пищевой науки и технологии, Мешхед, Иран
[3] Факультет науки о пище, Сельскохозяйственный факультет, Каирский университет, Гиза, Египет

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
кунжутная шелуха, пророщенные соевые бобы, клетчатка, питательное мороженое

АННОТАЦИЯ

Целью исследования было производство мороженого с повышенной питательной ценностью путем добавления пророщенных соевых бобов (ПСБ) и кунжутной шелухи (КШ) в различных концентрациях для частичной замены сухого обезжиренного молока (СОМ). Оценивались физико-химические показатели, общее содержание фенолов (ОПП), антиоксидантная активность (АОА) и органолептическая приемлемость мороженого, обогащенного ПСБ или КШ. Было обнаружено, что мороженое, содержащее 15% ПСБ, обладает лучшими органолептическими характеристиками и является наиболее предпочтительным при оценке вкуса дегустационной комиссией. Добавление 15% ПСБ увеличило содержание белка и клетчатки и повысило устойчивость мороженого к таянию, тогда как добавление 15% КШ привело к большему увеличению содержания пищевых волокон, но к снижению содержания белка и понижению устойчивости к таянию. Самое высокое превышение стоимости продукта было получено в образце, обогащенном 25% ПСБ, по сравнению с самой низкой стоимостью продукта, полученном в образце, обогащенном 25% КШ, но членам дегустационной комиссии в целом эти образцы мороженого не понравились с точки зрения вкуса и аромата. Показано, что добавление ПСБ и КШ для замены СОМ в мороженом может создать питательный и недорогой продукт со схожими физико-химическими свойствами и вкусом.

БЛАГОДАРНОСТЬ: Авторы выражают благодарность кафедре пищевой промышленности и кафедре науки о молоке за поддержку данного исследования.

1. Introduction

In recent decades there has been a noticeable increase in public concern for health and quality of life, which concern has led to improved dietary habits and increased consumption of foods with acknowledged health benefits, and innovative nutritious foods. Nutritious foods are the foods that provide specific bioactive components beyond basic nutrition due to their considered health benefits [1].

Ice cream is a product with high acceptability, universal awareness of the product, and has a high probability of business growth due to its numerous varieties and combinations [2].

In reality, ice cream is not only considered a fun food but also a relatively well-balanced, nutritious, easily digestible, and delicious food [3]. So, it is a great model for providing development and innovation products.

On one hand, soybean is one of the oldest food crops in the world and has been studied as a potential ingredient in many foods. It is also a good source of vegetable protein and a healthy source of fat, vitamins, minerals and fiber [4]. Furthermore, plant-derived substances rich in dietary fiber play a significant role in enhancing sensory attributes and exhibiting water-holding properties of ice cream [5]. In addition, soybean has already gained attention as a potential ingredient for various foods due to its numerous health benefits [6]. Sesame, on the other hand, is a plant of the Pedaliaceae family and has been cultivated for its oil since ancient times. Sesame hulls are often removed from the seeds during processing as they can stain the seeds dark [7]. However, the recent research suggests that sesame hulls have potential health benefits and are exceptionally nutritious due to their high content of

FOR CITATION: **El-Maksoud, A. A. A., Hesarinejad, M. A., Abedelmaksoud, T. G.** (2023). Exploring the potential of sprouted soybean and sesame hull to increase nutritional value of ice cream. *Food Systems*, 6(3), 403-408. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-403-408

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Эль-Максуд, А. А. А., Хайдаринеджад, М. А., Абедельмаксуд, Т. Г.** (2023). Изучение потенциала пророшенных соевых бобов и кунжутной шелухи для повышения пищевой ценности мороженого. *Пищевые системы*, 6(3), 403-408. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-403-408

antioxidants, bioactive compounds, and natural preservatives such as sesamolin and sesamin [8]. These hulls can be used for a variety of purposes including animal feed as a source of dietary fiber and in the development of nutritious foods.

Sprouting of seeds is known as a way to improve the nutritional value of the seed due to several metabolic changes that are activated during sprouting, thus, the nutritional content of the sprouted bean is improved while anti-nutritional components such as trypsin inhibitor and phytic acid are reduced as the latter substances inhibit the digestion of some important minerals such as Fe, Zn, Ca, and Mg [9]. Germination, a non-chemical, non-thermal process, is also a better way than cooking to reduce efficiently the levels of anti-nutritional factors without deterioration of the resulting product quality [10]. Examples of the resulting increase in levels of content and bioavailability of many essential nutrients in soybeans include all vitamins, with ascorbic acid levels showing the most noticeable increase during germination, as soybeans contain no or undetectable levels of ascorbic acid in the unsprouted seed, which increases greatly during germination [11]. The reduction and elimination of the three main soy allergens also has several advantages: it is simple, money-saving, and easy to run on an industrial scale compared to technological processes aimed at eliminating or reducing the number of allergenic proteins. Food produced this way (by sprouting) is safe since no microbial enzymes or detergents are used in the process [12]. Also, the content of several bioactive compounds rise during the biological process of germination, such as the levels of folate, which increases during germination and has important biological functions, as it contributes to the prevention of DNA damage; some evidence suggests its preventative effect in some types of cancer, including colon cancer [13].

As a result, there is a growing number of health-conscious consumers of nutritious foods, including, most recently, the production of nutritious ice cream. In addition to nutrient-rich ingredients like fruits, vegetables, legumes, and edible food waste (peels and edible husks), the concept of functional food also includes food fortified with minerals, vitamins, fiber and probiotics [14]. Soybean and sesame hulls for decades have been recognized as inexpensive sources of protein, fat, fiber and minerals [15]. Although ice cream is full of nutrients such as protein, fat, sugars, minerals and vitamins, it still lacks a very important nutrient, which is fiber, and despite the number of papers published on functional ice cream, without mentioning the use of soybean as a source of fiber in addition to vegetable protein which is easier to digest due to the sprouting process [16]. Therefore, the aim of this study was the development of a nutritious ice cream with SSB and SH admixture.

2. Materials and Methods

2.1. Chemicals and materials

All chemicals used in the analyses were purchased from Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO, USA). Soybean, skim milk powder (SMP), buffalo cream, sugar, and cocoa powder were purchased from a local supermarket on the 6th of October city, Egypt. Table 1 observed the chemical composition of dairy ingredients (SMP and Cream). Stabilizer and emulsifier (sodium alginate and guar gum) were purchased from MIFAD, the food additives company in New Cairo.

Table 1. **Chemical composition of dairy ingredients**

Таблица 1. **Химический состав молочных ингредиентов**

Ingredients	SMP	Cream
Moisture	4.60±0.24	39.15±0.53
Protein	33.04±0.57	2.30±0.11
Fat	1.22±0.12	54.61±0.40
Ash	7.93±0.04	1.64±0.02
Carb (cal)	53.21±1.58	2.30±0.13

SMP: Skim milk powder; Carb: carbohydrate.
SMP: сухое обезжиренное молоко; Carb: углеводы.

2.2. Soybean sprouting

Rinse the soybeans with cold water and leave them to soak overnight in the refrigerator. Place the cleaned soybeans in a planter with small holes in the bottom and pour more water in the planter every 5 hours to keep the soybeans wet. The water will drain through the small holes in the planter's bottom. A black cloth is also used to cover the planter to keep out the light for 3 days. Rinse and drain the sprouts several times before storing them in the fridge. Using a hot air oven, the sprouted soybeans were dried at 40 °C for 12 hours to remove the moisture without affecting the nutrients naturally contained in the soybeans [16].

2.3. Ice cream processing

Four ice cream mixes were produced according to the recipes shown in Table 2. Buffalo milk was used in the production. The process began by placing the liquid phase, consisting of water and cream, into a benchtop pasteurizer equipped with the mixing blades. Following that, the solid ingredients, which included milled sesame hulls or sprouted soybeans, sugar, and stabilizer, were introduced. At this stage, either SH or SSB substituted 15%, 20%, and 25% of SMP. Subsequently, the temperature of the mixture was gradually raised to 85 °C and held at this temperature for 5 minutes, then cooled to 5 °C. A high-shear homogenizer was used to produce uniformly small fat globules, which improved the whippability and texture of the ice cream mix. The ice cream is then aged at 4 °C for 5 hours to allow the milk proteins and water to interact and the fat to crystallize. The resulting ice cream was then aerated using an ice cream machine and finally stored in suitable conditions (at -18 °C).

Table 2. **Ingredients quantities at the various concentrations of sprouted soybeans and sesame hull as substitutes for skimmed milk powder in ice cream mix (g/kg)**

Таблица 2. **Количество ингредиентов при добавлении пророщенных соевых бобов и кунжутной шелухи в различных концентрациях в качестве заменителей сухого обезжиренного молока в смеси для приготовления мороженого (г/кг)**

Ingredients	Control	T1	T 2	T 3
Water	543	543	543	543
Cream	181.8	181.8	181.8	181.8
Sugar	145.0	145.0	145.0	145.0
SMP	85.20	72.42	68.16	63.90
Cocoa powder	40.0	40.0	40.0	40.0
Stabilizer	5.0	5.0	5.0	5.0
SB, SSB or SH	0.00	12.78	17.04	21.30

T: treatment; SMP: skimmed milk powder; SB: soybean; SSB: sprouted soybean; SH: sesame hull
T: опытный образец; SMP=СОМ: сухое обезжиренное молоко; SB-СБ: соевые бобы; SSB=ПСБ: пророщенные соевые бобы; SH=КШ: кунжутная шелуха.

3. Methods of analysis

2.4.1. Chemical composition

Ash, moisture, protein, fat and fiber contents of all samples were determined according to AOAC [17].

Carbohydrates were determined by the DNS method with some modifications. The samples of 5 g were diluted up to 100 ml with ethanol of 70%, then heated to 90 °C for 1 hour, after that a saturated solution of lead acetate was used to precipitate the impurities, the solution was filtered to get the filtrate, then another precipitation process was run by using sodium oxalate to get the pure filtrate of reducing sugars. The resulting clear solutions were built up to a known volume. 1 ml of both extracts was diluted with 1 ml of DNS in separate test tubes and then boiled for 2 minutes, after that each extract was added to 8 ml of distilled water. The final step involved using a spectrophotometer at 540 nm to measure the amount of absorbed light which indicates the amount of reducing sugars in the samples [18].

2.4.2. Tannin content

Tannin content: quantitative determination of tannins was carried out according to Pulipati et al [19] as follows: One gram of each sample was separately mixed with 10 ml of HCl in methanol 1% (v/v) in a dark bottle and shaken for 20 min at room temperature, then filtered. 1 ml of the supernatant was mixed with 5 ml (vanillin / HCl) mixture (by mixing equal volumes of 2% vanillin in methanol and 8%HCl/methanol) in a test tube and was exposed for 20 min to room temperature. The color formed was measured at 500 nm using a spectrophotometer (Jenway 6300 VIS, Laborned Inc., USA). Catechin was used for the preparation of the standard curve. Tannins were calculated as mg of catechin equivalent (CE)/100 g on dry weight basis.

2.4.3. Total phenolic content

Total phenolic content was determined by the Folin-Ciocalteu method according to Elsayed et al.[20], with some modifications as in described by El-Maksoud et al [21]. Briefly, 1 ml of each sample (extracts before evaporation) was placed in a test tube and 1 ml of Folin reagent was added. After 3 min, 1 ml of sodium carbonate (7.5%) was added. The mixture was left in the dark for 1 h and the absorbance at 740 nm was measured. The total phenolic content was calculated from a standard curve of gallic acid content and expressed as mg of gallic acid/mg of the sample.

2.4.4. Phenolic compounds of sesame hulls

The phenolic composition of sesame hulls was determined by HPLC (Agilent 1260 series, Santa Clara, CA, USA) according to Fathy et al. [22]. The UV detector was used to measure the phenolic chemicals at 280 nm.

2.4.5. Apparent viscosity of mixtures

Following the aging process, all mixtures were subjected to analysis to determine their apparent viscosity. The apparent viscosity was measured in triplicate at 25 ºC using a concentric cylinder of the Brookfield Programmable viscometer (Model DV–II; Brookfield Engineering Laboratories, USA) equipped with the UL adaptor. Spindle 2 was run at a rotational speed of 40 revolutions per minute (RPM).

2.4.6. Overrun on the cost estimation

Overrun on the cost were estimated using the weight of the mixture in a fixed volume container (50ml cup) and the weight of the fixed volume of ice cream (50 ml cup). Overrun on the cost was estimated at the end of each collection point, resulting in three estimations of overrun on the cost per the collection point. This was calculated by comparing the weight of a known volume of ice cream (M_2) with the weight of the same volume of unfrozen ice cream mix (M_1) by the formulation as follows [23]:

$$\text{Overrun on the cost\%} = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100 \quad (1)$$

2.4.7. Melting characteristics

The sample, placed on a wire mesh, melted and dripped into the beaker below. The weight of the drip collected in the beaker was measured over time. The rate of weight increase was defined as the melting rate. This experiment was carried out at 25 °C in the laboratory incubator [24].

2.4.7. Sensory characteristics evaluation

The sensory evaluation of the ice cream samples in terms of their color, taste, fat feel, rate of melting, viscosity, aftertaste, grittiness and overall acceptability (OAA) was carried out using a nine-point hedonic scale (1 = disliked very much and 9 = liked very much) according to Ghaderi et al. [25] by a semi-trained panel of ten members, including the laboratory's scientific staff. The samples were randomly drawn from each experimental block, coded and served to the panelists in a sensory laboratory (the samples were tested at room temperature of 25 ± 1 °C). Drinking water was provided for each panelist to rinse the mouth before tasting each next sample.

2.4.8. Statistical analysis

The results obtained in this study were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and the mean values were compared using the least significant difference (LSD, 95%) by Duncan's multiple range tests using SPSS software.

3. Results and Discussions

3.1. The chemical composition of SB, SSB and SH

The Table 3 shows the chemical composition of soybean (SB), sprouted soybean (SSB) and sesame hull (SH). It also shows the comparison between the chemical profiles of the sprouted soybean and the unsprouted soybean. Composition is given ~~in~~ as percentage of moisture, ash, fiber, carbohydrate, protein and fat. The moisture content of SB and SSB is different, while SB containing 7.4% moisture and SSB containing 8.31% moisture. SH features the highest moisture content of all three samples reaching 8.86%. The moisture content of the germinated soybean increased significantly. When water enters the seed hull, seed swelling starts and germination is initiated [26].

Table 3. **Chemical composition of SB, SSB and SH**

Таблица 3. **Химический состав СБ, ПСБ и КШ**

	Moisture%	Ash%	Fibers%	Carbo-hydrate%	Protein%	Fat%
SB	7.40 ± 0.10^c	4.00 ± 0.10^c	9.67 ± 0.10^b	25.2 ± 0.2^a	32.29 ± 0.20^b	21.4 ± 0.2^a
SSB	8.31 ± 0.20^b	5.90 ± 0.30^b	10.97 ± 0.10^b	21.0 ± 0.2^b	35.71 ± 0.10^a	17.4 ± 0.1^b
SH	8.86 ± 0.20^a	9.32 ± 0.20^a	20.28 ± 0.10^a	15.9 ± 2.0^c	17.20 ± 0.10^c	17.8 ± 0.3^b

SB: soybean; SSB: sprouted soybean: SH: sesame hull. Different letters (a, b, c) mean statistically significant difference ($p < 0.05$); The data is mean ± SD

SB=СБ: соевые бобы; SSB=ПСБ: пророщенные соевые бобы: SH=КШ: кунжутная шелуха. Различные буквы (a, b, c) обозначают статистически значимую разницу ($p < 0.05$); Показаны средние значения ± стандартное отклонение.

In terms of ash and fiber content, SH had the highest percentage at 9.32 and 20.28% respectively, followed by SSB and SB. The increase in ash content of SSB may be caused by starch loss during germination [27]. Therefore, the inclusion of SH or SSB into the diet may provide additional nutritional benefits by contributing to the support of digestive health. The carbohydrate content of sprouted soybeans was significantly reduced compared to their raw versions. Vidal-Valverde et al. [28] explained that during germination carbohydrate was used as an energy source for germ growth, which could explain the changes in carbohydrate content after germination. In addition, activity of β-amylase was increased, which hydrolyses starch into simple carbohydrates [29]. Starch in the cotyledon was broken down into smaller molecules such as glucose and fructose to provide energy for cell division as the seeds matured and grew [28,30].

SSB has the highest protein content (35.71%), followed by SB (32.29%) and SH (17.20%). The apparent increase in protein content may be attributed to the loss of dry matter, particularly carbohydrates, through respiration during the sprouting [31]. Higher sprouting temperature and longer germination time would result in greater loss of dry matter and an increase in crude protein content. There is a resumption of protein synthesis after imbibition [30], leading to an increase in protein content in sprouted seeds.

Finally, the fat content is highest in SB at 21.4%, followed by SH and SSB. The fat content of sprouted soybeans decreased significantly compared to unsprouted soybeans. The decrease in fat content may be due to the depletion of stored fat, which contributed to the catabolic activities of the seeds during sprouting [32]. Devi et al [26] reported that the degradation of reserve nutrients (lipids and carbohydrates) during sprouting is a process whose main purpose is to provide the energy required for protein synthesis during a plant growth.

The differences in the composition of these three plant-containing foods highlight the importance of including a variety of foods in a balanced diet to ensure an adequate intake of all essential nutrients.

3.2. Phytochemical composition of unsprouted soybean, sprouted soybean and sesame hull

Table 4 displays the phytochemical composition of unsprouted soybean, sprouted soybean and sesame hull, in particular, their total phenolic and tannin content. It also highlights the potential health benefits of consuming the sprouted soybean and sesame hulls due to their high tannin content and total phenolic content. Tannins and phenolics are two types of plant compounds known for their health benefits due to their antioxidant properties, which can help protect against oxidative stress and prevent the development of chronic diseases such as cancer and cardiovascular disease [4].

Table 4. **Phytochemical composition of unsprouted soybean, sprouted soybean, and sesame hull**

Таблица 4. **Фитохимический состав непророщенных соевых бобов, пророщенных соевых бобов и кунжутной шелухи**

Materials	Total phenolics [a]	Tannins [b]
SB	03.46 ± 0.2b	4.73 ± 0.2b
SSB	10.23 ± 0.2a	8.31 ± 0.2a
SH	31.40 ± 0.3	—

[a] Expressed as mg of gallic acid equivalents/g of dry material.
[b] Expressed as mg of mg catechin equivalents/g of dry material
SB: soybean; SSB: sprouted soybean: SH: sesame hull
Different letters (a, b, c) mean statistically significant difference ($p < 0.05$); The data is mean ± SD.

[a] Выражается в мг эквивалентов галлиевой кислоты/г сухого материала.
[b] Выражается в мг эквивалентов катехина/г сухого материала.
SB=СБ: соевые бобы; SSB=ПСБ: пророщенные соевые бобы: SH=КШ: кунжутная шелуха
Различные буквы (a, b, c) обозначают статистически значимую разницу ($p < 0.05$); Показаны средние значения ± стандартное отклонение.

The tannin content of dry soybean and sprouted soybean is given in mg/g dry matter. Sprouted soybean featured significantly higher total phenolic and tannin contents — 10.23 ± 0.2 mg gallic acid eq/g and 8.31 ± 0.2 mg catechin eq/g compared to the dry soybean with 3.46 ± 0.2 mg gallic acid eq/g and 4.73 ± 0.2 catechin eq/g, respectively. In contrast, the phenolic content of sesame hulls was 31.40 ± 0.3 mg/g and it contained no tannins.

The comparison between the phytochemical profiles of the sprouted soybean and the phytochemical profiles of the unsprouted soybean is shown above in the Table 4. The amount of total phenolics in 1 g of soybean sprouts (in terms of dry matter) significantly increased with the number of germination days. The amount of tannins in 1 g of sprouted soybean (in terms of dry matter) increased significantly along with process of germination [33].

The phenolic fractions of sesame hulls were quantified with the help of HPLC, as it was demonstrated in the chromatography diagram presented in Figure 1. Significant amounts of coumaric acid, vanillic acid and resveratrol acids were detected in.

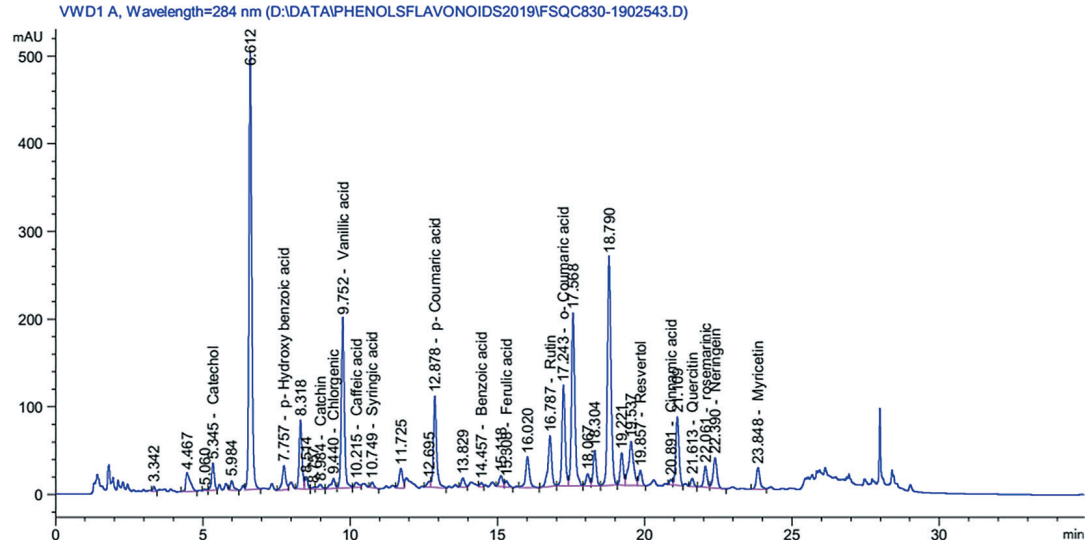


Figure 1. **Phenolic fractions of sesame hull**
Рисунок 1. **Фенольные фракции кунжутной шелухи**

3.3. Effect of sprouted soybean and SH on the nutrition value of Ice-cream

Apparent viscosity values (cP) are plotted as shown in Figure 2. The viscosity behavior is influenced by the addition of plant sources. The samples fortified with sesame hull (SH) showed increased viscosity compared to the control sample or those fortified with sprouted soybean (SSB). This may be due to the higher fiber content in SH (20.28%) compared to SSB (10.97%) as shown above in Table 3[5].

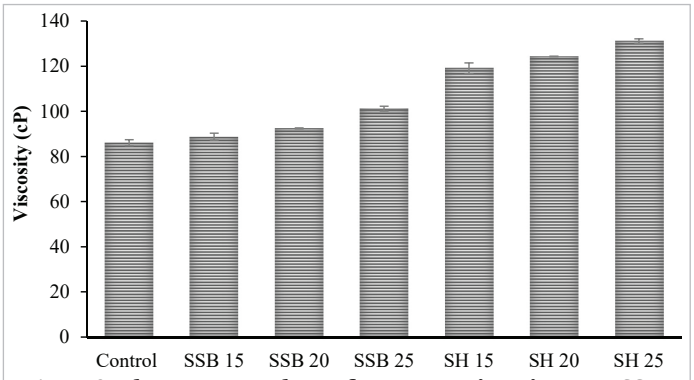


Figure 2. **The average values of apparent viscosity (cP): SSB: sprouted soybean: SH: sesame hull**
Рисунок 2. **Средние значения видимой вязкости (ВВ): SSB = ПСБ: пропущенные соевые бобы: SH — КШ: кунжутная шелуха**

Overrun the cost of ice cream influences the final product's body, texture, and palatability. It is also related to the yield and profit. The average overrun on the cost was the highest in SSB (25%) and the lowest in SH (25%) (Figure 3). The addition of sesame hulls significantly reduced the overrun on the cost. The inclusion of sprouted soybeans (SSB) exhibited a tendency to considerable rising of the overrun on the cost. This effect could potentially be attributed to the supplementary introduction of protein into the product. All samples could be statistically distinguished from each other.

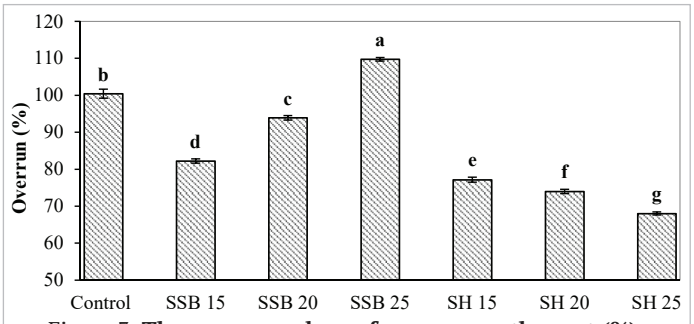


Figure 3. **The average values of overrun on the cost (%): SSB: sprouted soybean: SH: sesame hull**
Рисунок 3. **Средние значения превышения стоимости (%): SSB=ПСБ: пропущенные соевые бобы: SH=КШ: кунжутная шелуха**

Resistance to melting. Meltdown is another essential feature of ice cream that influences its sensory quality (Figure 4). Deviation in the melting parameter from its optimal value might cause the ice cream to be faulty. Melting time was dependent on the ice cream formulation and especially on the nature of the emulsifier. Fat aggregation proved to be the largest contributor to ice cream melting resistance [34] via the presence of bounds formed by the presence of fat, proteins, or other stabilizers, while the melting of the ice cream is also influenced by the ambient temperature and heat transmission rate. Resistance to melting is calculated via the following formulation, where A_1 is the weight of the initial sample (30g) and A_2 is the weight of the melted sample [35].

$$\text{Resistance to melting} = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100 \quad (2)$$

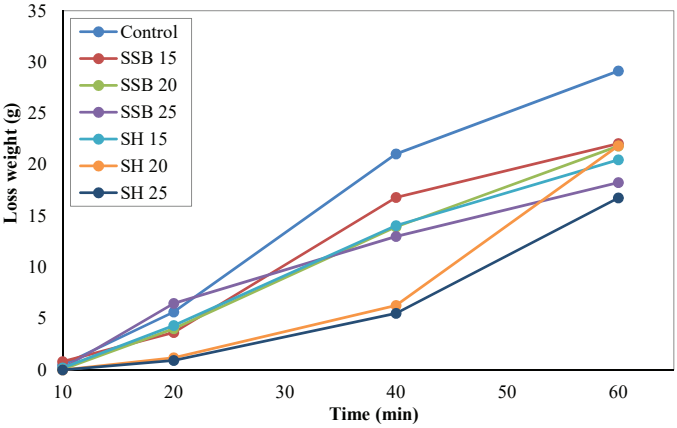


Figure 4. **The average values of melting rate (g/min): SSB: sprouted soybean: SH: sesame hull**
Рисунок 4. **Средние значения скорости таяния продукта (г/мин): SSB=ПСБ: пропущенные соевые бобы: SH=КШ: кунжутная шелуха**

In general, as viscosity increases, so does resistance to melting and texture smoothness [36]. Slow melting is usually attributed to over-stabilization and this condition can be adjusted by reducing the amount of stabilizer and/or emulsifier. The sprouted soybean may be responsible for the increased viscosity and hence the increased resistance to melting (Figure 3). The sample SH (15%) was criticized for " "inability to melt", as it was considered a defect. This sample's properties were often accompanied by texture defects such as soggy, gummy, doughy, and sticky body of the ice cream. This suggests that if such a high resistance to melting is not required, it can be corrected by reducing the amount of stabilizer, emulsifier, or milk solids (not fat) with additional cost benefits. Furthermore, it is noteworthy that in this study, the greatest impact on the resistance to melting was correlated with the ice cream's overrun on the cost.

Protein, fat, and crude fiber percentage in SSB and SH supplemented ice cream were also reviewed. Table 5 presents the protein, fat, and crude fiber percentages in ice cream made with sprouted soybean and sesame

hull at different concentrations, as well as a control sample for comparison. As shown in Table 4 there is an increase in protein content in SSB ice cream, unlike the SH ice cream which features protein content decrease. This may be due to the high protein content of SSB (35.71% Table 3). There are no significant differences in the fat ratio throughout all ice cream trials. The crude fiber ratio shows significant differences throughout all trials and the highest fiber concentration was found in the ice cream with the highest SH concentration, due to the high fiber content of SH as shown in the Table 2. In general, this table shows that the addition of sprouted soybeans and sesame hulls to ice cream does not significantly affect the protein content and fat content compared to the control sample. However, the addition of these ingredients increases the crude fiber content, especially at higher concentrations. This may cause implications for the nutritional value and potential health benefits of the ice cream, but further studies are needed to fully understand these effects.

Table 5. **Protein, fat, and crude fiber percentages in ice cream with sprouted soybean and sesame hull**

Таблица 5. **Процент белка, жира и сырой клетчатки в мороженом с добавлением пророщенных соевых бобов и кунжутной шелухой**

Parameter	Protein%	Fat%	Crude Fiber%
Control	4.65 ± 0.10^{ab}	10.21 ± 0.10^{a}	0.00
SSB15	4.67 ± 0.10^{ab}	10.19 ± 0.10^{a}	0.44 ± 0.10^{e}
SSB20	4.80 ± 0.10^{a}	10.21 ± 0.20^{a}	0.93 ± 0.10^{d}
SSB25	4.81 ± 0.10^{a}	10.14 ± 0.10^{a}	1.08 ± 0.10^{c}
SH 15	4.51 ± 0.10^{b}	10.22 ± 0.10^{a}	1.07 ± 0.10^{c}
SH 20	4.34 ± 0.10^{b}	10.30 ± 0.10^{a}	1.34 ± 0.10^{b}
SH 25	3.96 ± 0.10^{c}	10.11 ± 0.10^{a}	1.75 ± 0.10^{a}

Different letters (a, b, c) mean statistically significant difference ($p < 0.05$); The data is mean ± SD/

Различные буквы (a, b, c) обозначают статистически значимую разницу ($p < 0.05$); Показаны средние значения ± стандартное отклонение/

3.4. Effect of different concentrations of sprouted soybean and sesame hull on sensory attributes of ice cream

There were two types of admixtures (SSB and SH). Each type was prepared in three concentrations. The parameters of these types and concentrations were tested and assessed, as shown in Figure 5. Among the tests SSB15 seems to have performed relatively well, with scores close to or above 8 for most attributes, except for color and sandy texture, which were slightly lower. SSB20 and SSB25 appear to have generally lower scores, particularly for color, flavor and resistance to melting, resulting in a lower overall acceptability score. The SH ice cream samples (15, 20 and 25) also appear to have varied in their performance, with SH 15 performing quite well, particularly in flavor, and SH 20 and SH 25 performed relatively poorly in most attributes except flavor and fat feel.

The color of the majority of the ice cream samples was very acceptable, except for the sprouted soybean one at 25% concentration. Regarding the flavor score: both SH and SSB ice cream featured an unacceptable flavor at 25% and 20% concentrations, but there is no noticeable flavor at 15% concentration of SH and a nutty flavor at the same concentration of SSB. The viscosity score varied between 5 and 8, with the best viscosity at 20% SSB and the worst one at 25% SSB. None of the trials gave feeling of grittiness. As for the overall scores, the preference was given in the following order: SSP 15%, SH 15% > SP 20%, SH 20% > SSP 25%, SH 25%.

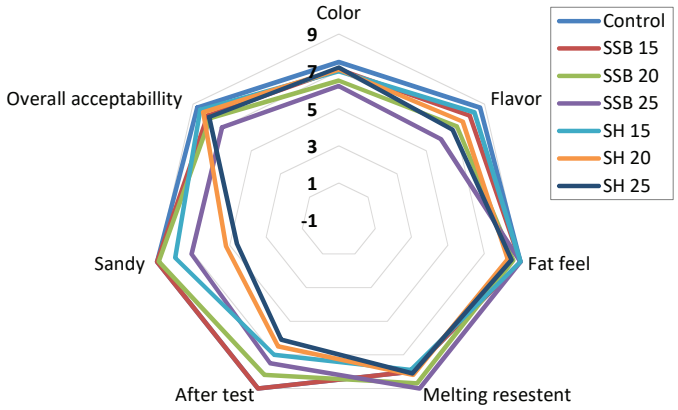


Figure 5. **Effect of levels of sprouted soybean and sesame hull on sensory attributes of ice cream, SSB: sprouted soybean; SH: sesame hull**

Рисунок 5. **Влияние содержания проросшей сои и кунжутной шелухи на органолептические свойства мороженого. SSB=ПСБ: пророщенные соевые бобы; SH=КШ: кунжутная шелуха**

4. Conclusions

Sprouted soybean and sesame hulls improve the nutritional value of ice cream by increasing the protein content and fiber content. According to the sensory evaluation, ice cream with SSB15% was best preferred. The newly developed ice cream features higher protein content and fiber content compared to the commercial ice cream. The results support the assumption that the use of SSB available in Egypt and the technology developed for its admixing to the ice cream increases the nutritional value of ice cream; it now contains more protein and more fiber. On the other hand, SSB admixture reduces the cost of the ice cream as the mild soybean is used as a fiber source without affecting the sensory properties of the ice cream. The protein content in SH ice cream is slightly lower than in the control sample and SSB samples, ranging from 3.96 ± 0.1% at 25% SH to 4.51 ± 0.1% at 15% SH. The fat content in SH ice cream is similar to the control sample and SSB samples, ranging from 10.11 ± 0.1% at 25% SH to 10.30 ± 0.1% at 20% SH. The crude fiber content in SH ice cream increased along with increasing of SH concentrations, ranging from 1.07 ± 0.1% at 15% SH to 1.75 ± 0.1% at 25% SH. In general, although sesame hulls may not be as nutritious as sesame seeds, they may still have potential health benefits and numerous ways of its application in various industries.

REFERENCES

1. Caliskan, O. (2015). Mediterranean figs (Ficus carica L.) functional food properties. Chapter in a book: The Mediterranean Diet. Academic Press, 2015. https://doi.org/10.1016/B978–0–12–407849–9.00056–7
2. Januário, J. G. B., Oliveira, A. S., Dias, S. S., Klososki, S. J., Pimentel, T. C. (2018). Kefir ice cream flavored with fruits and sweetened with honey: Physical and chemical characteristics and acceptance. *International Food Research Journal*, 25(1), 179–187.
3. Legassa, O. (2020). Ice cream nutrition and its health impacts. *International Journal of Food and Nutritional Science,* 7(1), 19–27. https://doi.org/10.15436/2377–0619.20.2678
4. Elleuch, M., Bedigian, D., Zitoun, A., (2011), Sesame (Sesamum indicum L.) Seeds in Food, Nutrition, and Health. Chapter in a book: Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention, Academic Press, London, UK, 2011. https://doi.org/10.1016/B978–0–12–375688–6.10122–7
5. Soukoulis, C., Lebesi, D., Tzia, C. (2009). Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. *Food Chemistry*, 115(2), 665–671. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.070
6. Qin, P., Wang, T., Luo, Y. (2022). A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7, Article 100265. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265
7. Abedelmaksoud, T. G., Shehata, A. S., Fahmy, M. A., Abdel-aziz, M. E., Baioumy, A. A. (2023). Nile perch fish nuggets: Partial replacement of fish flesh with sesame hulls and sunroot — Quality assessment and storage stability. *Theory and Practice of Meat Processing*, 8(1), 19–25. https://doi.org/10.21323/2414–438X-2023–8–1–19–25
8. Wei, P., Zhao, F., Wang, Z., Wang, Q., Chai, X., Hou, G. et al. (2022). Sesame (sesamum indicum L.): A comprehensive review of nutritional value, phytochemical composition, health benefits, development of food, and industrial applications. *Nutrients*, 14(19), Article 4079. https://doi.org/10.3390/nu14194079
9. Lemmens, E., Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y. et al. (2019). Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(1), 305–328. https://doi.org/10.1111/1541–4337.12414
10. Murugkar, D. A. (2014). Effect of sprouting of soybean on the chemical composition and quality of soymilk and tofu. *Journal of Food Science and Technology*, 51(5), 915–921. https://doi.org/10.1007/s13197–011–0576–9
11. Arnon-Rips, H., Sabag, A., Tepper-Bamnolker, P., Chalupovich, D., Levi-Kalisman, Y., Eshel, D. et al. (2020). Effective suppression of potato tuber sprouting using polysaccharide-based emulsified films for prolonged release of citral. *Food Hydrocolloids*, 103, Article 105644. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105644
12. Bartalné-Berceli, M., Izsó, E., Gergely, S., Jednákovits, A., Szilbereky, J., Salgó, A. (2016). Sprouting of soybean: A natural process to produce unique quality food products and additives. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 8(4), 519–538. https://doi.org/10.3920/QAS2015.0704
13. Kiran, K. R., Deepika, V. B., Swathy, P. S., Prasad, K., Kabekkodu, S. P., Murali, T. S. et al. (2020). ROS-dependent DNA damage and repair during germination of NaCl primed seeds. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 213, Article 112050. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.112050
14. Difonzo, G., de Gennaro, G., Pasqualone, A., Caponio, F. (2022). Potential use of plant-based by-products and waste to improve the quality of gluten-free foods.

Journal of the Science of Food and Agriculture, 102(6), 2199–2211. https://doi.org/10.1002/jsfa.11702
15. Zhang, M., Wang, O., Cai, S., Zhao, L., Zhao, L. (2023). Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: A systematic review. *Food Research International,* 171, Article 113061. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113061
16. Zinia, S. A., Nupur, A. H., Karmoker, P., Hossain, A., Jubayer, M. F., Akhter, D. et al. (2022). Effects of sprouting of soybean on the anti-nutritional, nutritional, textural and sensory quality of tofu. *Heliyon*, 8(10), Article e10878. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10878
17. AOAC (2016) Official methods of analysis. In: Association of Official Analytical Chemists, 20th edn. Washington DC. Retrieved from https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/ Accessed May 12, 2023
18. Gusakov, A. V., Kondratyeva, E. G., Sinitsyn, A. P. (2011). Comparison of two methods for assaying reducing sugars in the determination of carbohydrase activities. *International Journal of Analytical Chemistry,* 2011, Article 283658. https://doi.org/10.1155/2011/283658
19. Pulipati, S., Babu, P. S., Narasu, M. L. (2014). Quantitative determination of tannin content and evaluation of antibacterial activity of Amaranthus tricolor (L). *International Journal of Biological and Pharmaceutical Research*, 5(7), 623–626.
20. Elsayed, N., Marrez, D. A., Ali, M. A., El-Maksoud, A. A. A., Cheng, W., & Abedelmaksoud, T. G. (2022). Phenolic profiling and in-vitro bioactivities of corn (Zea mays L.) tassel extracts by combining enzyme-assisted extraction. *Foods*, 11(14), 2145. https://www.mdpi.com/2304–8158/11/14/2145
21. Abd El-Maksoud, A. A., Cheng, W., Petersen, S. V., Pandiselvam, R., Guo, Z. (2022). Covalent phenolic acid-grafted β-lactoglobulin conjugates: Synthesis, characterization, and evaluation of their multifunctional properties. *LWT*, 172, Article 114215. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114215
22. Fathy, H. M., Abd El-Maksoud, A. A., Cheng, W., Elshaghabee, F. M. (2022). Value-added utilization of citrus peels in improving functional properties and probiotic viability of Acidophilus-bifidus-thermophilus (ABT)-type synbiotic yoghurt during cold storage. *Foods*, 11(17), 2677. https://doi.org/10.3390/foods11172677
23. Shahi, S.K., Didar, Z., Hesarinejad, M. A., Vazifedoost, M. (2021). Optimized pulsed electric field-assisted extraction of biosurfactants from Chubak (Acanthophyllum squarrosum) root and application in ice cream. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(9), 3693–3706. https://doi.org/10.1002/jsfa.11000
24. Morais, E. C., Morais, A. R., Cruz, A. G., Bolini, H. M. A. (2014). Development of chocolate dairy dessert with addition of prebiotics and replacement of sucrose with different high-intensity sweeteners. *Journal of Dairy Science*, 97(5), 2600–2609. https://doi.org/10.3168/jds.2013–7603
25. Ghaderi, S., Tehrani, M.M., Hesarinejad, M. A. (2021). Qualitative analysis of the structural, thermal and rheological properties of a plant ice cream based on soy and sesame milks. *Food Science and Nutrition*, 9(3), 1289–1298. https://doi.org/10.1002/fsn3.2037
26. Devi, C. B., Kushwaha, A., Kumar, A. (2015). Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of cowpea (Vigna unguiculata). *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6821–6827. https://doi.org/10.1007/s13197–015–1832–1
27. Lorenz, K., D'Appolonia, B. (2009). Cereal sprouts: composition, nutritive value, food applications. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 13(4), 353–385. https://doi.org/10.1080/10408398009527295
28. Vidal-Valverde, C., Frias, J., Sierra, I., Blazquez, I., Lambein, F., Kuo, Y. -H. (2002). New functional legume foods by germination: effect on the nutritive value of beans, lentils and peas. *European Food Research and Technology*, 215(6), 472–477. https://doi.org/10.1007/s00217–002–0602–2
29. Hou, J., Liu, T., Reid, S., Zhang, H., Peng, X., Sun, K. et al. (2019). Silencing of α-amylase StAmy23 in potato tuber leads to delayed sprouting. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 411–418. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.044
30. Nonogaki, H., Bassel, G. W., Bewley, J. D. (2010). Germination — still a mystery. *Plant Science*, 179(6), 574–581. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010
31. Uppal, V., Bains, K. (2012). Effect of germination periods and hydrothermal treatments on in vitro protein and starch digestibility of germinated legumes. *Journal of Food Science and Technology,* 49(2), 184–191. https://doi.org/10.1007/s13197–011–0273–8
32. Onimawo, I. A., Asugo, S. (2004). Effects of germination on the nutrient content and functional properties of pigeon pea flour. *Journal of Food Science and Technology*, 41(2), 170–174.
33. Rusydi, M. R.M., Azrina, A. (2012). Effect of germination on total phenolic, tannin and phytic acid contents in soy bean and peanut. *International Food Research Journal*, 19(2), 673–677.
34. Nazaruddin, R., Syaliza, A. S., Wan Rosnani, A. I. (2008). The effect of vegetable fat on the physicochemical characteristics of dates ice cream. *International Journal of Dairy Technology*, 61(3), 265–269. https://doi.org/10.1111/j.1471–0307.2008.00413.x
35. Marshall, R. T., Arbuckle, W. S. (2000). Ice Cream. Gaithersburg, Marylan, 2000.
36. Patel, I. J., Dharaiya, C. N., Pinto, S. V. (2015). Development of technology for manufacture of ragi ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4015–4028. https://doi.org/10.1007/s13197–014–1518–0

AUTHOR INFORMATION	СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Affiliation	**Принадлежность к организации**
Ahmed A. A. El-Maksoud, Assistant Professor, Dairy Science Department, Faculty of Agriculture, Cairo University 1 Gamaa Street, 12613, Giza, Egypt Tel.: +2–0111–701–16–41 E-mail: ahmed_ali@cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000–0001–6631–5900	**Эль-Максуд, А. А. А.**, научный сотрудник, Кафедра науки о молоке, Сельскохозяйственный факультет, Каирский Университет 12613, Египет, Гиза, ул. Гамаа, 1 Тел.: +2–0111–701–16–41 E-mail: ahmed_ali@cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000–0001–6631–5900
Mohammad A. Hesarinejad, Assistant Professor, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology Km. 12- Mashhad/ Quchan Highway- Mashhad Mashhad, Iran Tel.: +98–915–325–15–99 E-mail: ma.hesarinejad@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0002–2799–6982	**Хайдаринеджад М. А.**, научный сотрудник Кафедра пищевой промышленности, Научно-исследовательский институт пищевой науки и технологии 12 км шоссе Мешхед/Кучан, Мешхед, Разави, провинция Хорасан, Иран Тел.: +98–915–325–15–99 E-mail: ma.hesarinejad@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0002–2799–6982
Tarek G. Abedelmaksoud, Associate Professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Cairo University 1 Gamaa Street, 12613, Giza, Egypt Tel.: +2–0110–144–12–80 Email: tareekgamal_88@agr.cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000–0002–7012–6667 * corresponding author	**Абедельмаксуд Т. Г.**, адъюнкт-профессор, Кафедра науки о питании, Сельскохозяйственный факультет, Каирский Университет 12613, Египет, Гиза, ул. Гамаа, 1 Тел.: +2–0110–144–12–80 Email: tareekgamal_88@agr.cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000–0002–7012–6667 * автор для контактов

Contribution	Критерии авторства
This article does not contain any studies with human or animal subjects. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript. All data generated or analyzed during this study are included in this published article. Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.	Эта статья не содержит каких-либо исследований с участием людей или животных. Все авторы прочитали опубликованную версию рукописи и согласились с ней. Все авторы прочитали и одобрили окончательную рукопись. Все данные, полученные или проанализированные в ходе этого исследования, включены в данную опубликованную статью. Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.
Conflict of interest	**Конфликт интересов**
The author declare no conflict of interest.	Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-409-415

Поступила 31.05.2023
Поступила после рецензирования 21.09.2023
Принята в печать 25.09.2023
© Крикунова Л. Н., Томгорова С. М., Захарова В. А., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ КРИТЕРИЕВ ПЛОДОВЫХ ВОДОК ИЗ КОСТОЧКОВОГО СЫРЬЯ

Крикунова Л. Н., Томгорова С. М.*, Захарова В. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *плодовые водки, биохимический состав, первичная переработка, способ сбраживания, сброженное сырье, летучие компоненты, алгоритм оценки*

АННОТАЦИЯ

Необходимость разработки идентификационных критериев плодовых водок связана с предотвращением реализации фальсифицированной продукции на российском алкогольном рынке. В связи с многообразием факторов, влияющих на конечный продукт, для решения данной задачи требуется применение методологии, основанной на комплексном подходе. Работа посвящена ее первому этапу — оценке влияния биохимического состава плодового косточкового сырья, а также различных технологических факторов на формирование существенных (идентификационных) признаков продукции. В качестве объектов исследования использовали свежие плоды абрикосов, алычи, вишни, кизила и сливы, а также образцы сброженного сырья. Оценка биохимического состава свежих плодов проводилась по содержанию сахаров, свободных органических кислот, аминокислот и пектиновых веществ. Установлено, что в образцах исходного сырья значения всех основных показателей биохимического состава варьировались в широких пределах. При этом были отмечены существенные различия между видами плодового сырья в содержании свободных аминокислот (кизил, алыча — до 0,08% и 0,12% соответственно; вишня, слива и абрикос — до 0,19–0,30%) и пектиновых веществ (вишня, абрикос — до 0,6–0,8%; алыча, кизил, слива — до 1,2–1,3%). В качестве технологических факторов в работе изучены: способ первичной переработки сырья (получение мезги или выделение сока); способ мацерации — без ферментных препаратов и с обработкой ферментными препаратами; способ сбраживания — без активаторов брожения и с использованием активаторов брожения. Установлено, что способ первичной переработки сырья влияет на концентрацию метанола, сложных эфиров и высших спиртов в сброженном сырье. Использование активаторов брожения способствует увеличению в нем концентрации высших спиртов и сложных эфиров почти в 2 раза, а применение отдельных комплексных ферментных препаратов — на 16% и 80% соответственно. Показано, что методология разработки идентификационных критериев плодовых водок на первом этапе должна включать оценку физико-химического состава исходного сырья и отдельных технологических факторов на стадии подготовки его к дистилляции.

Received 31.05.2023
Accepted in revised 21.09.2023
Accepted for publication 25.09.2023
© Krikunova L. N., Tomgorova S. M., Zaharova, V. A., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF IDENTIFICATION CRITERIA OF STONE FRUIT BRANDY

Ludmila N. Krikunova, Svetlana M. Tomgorova*, Varvara A. Zaharova

All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS: *fruit brandy, biochemical composition, primary processing, fermentation method, fermented raw materials, volatile components, evaluation algorithm*

ABSTRACT

The need to develop identification criteria for fruit brandy is connected with the prevention of the sale of counterfeit products on the Russian alcohol market. Due to the variety of factors affecting the final product, the solution to this problem requires the use of a methodology based on an integrated approach. The work is devoted to its first stage — the assessment of the influence of the biochemical composition of fruit stone raw materials, as well as various technological factors on the formation of essential (identification) characteristics of products. Fresh fruits of apricots, cherry plums, cherries, dogwood and plums, as well as samples of fermented raw materials were used as objects of research. The biochemical composition of fresh fruits was assessed by the content of sugars, free organic acids, amino acids and pectin substances. It has been found that the values of all main indicators of the biochemical composition varied widely in the samples of initial raw materials. At the same time, significant differences were noted between the types of fruit raw materials in the content of free amino acids (dogwood, cherry plum up to 0.08% and 0.12%, respectively; cherry, plum and apricot up to 0.19–0.30%) and pectin substances (cherry, apricot up to 0.6–0.8%; cherry plum, dogwood, plum up to 1.2–1.3%). The following factors were studied in the work as technological factors: a method of primary processing of raw materials (obtaining pulp or juice extraction); a maceration method — without enzyme preparations and with treatment with enzyme preparations; a fermentation method — without fermentation activators and using fermentation activators. It has been established that the method for primary processing of raw materials affects the concentration of methanol, esters and higher alcohols in fermented raw materials. The use of fermentation activators contributes to an increase in the concentration of higher alcohols and esters in them by almost 2 times, and the use of individual complex enzyme preparations — by 16% and 80%, respectively. It has been shown that the methodology for developing identification criteria for fruit vodkas at the first stage should include an assessment of the physico-chemical composition of initial raw materials and individual technological factors at the stage of preparing them for distillation.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Крикунова, Л. Н., Томгорова, С. М., Захарова В. А.** (2023). Методология разработки идентификационных критериев плодовых водок из косточкового сырья. *Пищевые системы*, 6(3), 409-415. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-409-415

FOR CITATION: **Krikunova, L. N., Tomgorova, S. M., Zaharova, V. A.** (2023). Methodology for the development of identification criteria of stone fruit brandy. *Food Systems,* 6(3), 409-415. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-409-415

1. Введение

Спиртные напитки на основе дистиллятов из плодового сырья, в том числе плодовые водки, относятся к дорогостоящей алкогольной продукции. К наиболее популярным среди потребителей относятся спиртные напитки, произведенные на основе фруктовых (плодовых) дистиллятов из косточкового сырья (абрикосов, сливы, вишни, алычи и кизила). На физико-химические показатели конечного продукта, как известно, оказывает влияние ряд факторов, в первую очередь биохимический состав исходного сырья. Исследования отечественных и зарубежных ученых позволили установить отдельные различия в биохимическом составе перечисленных плодов. Абрикос, вишня и слива отличались более высокой концентрацией свободных аминокислот [1,2,3,4,5], алыча характеризовалась наименьшей концентрацией сахаров [6] и также, как и кизил, высоким уровнем кислотности [7,8]. Помимо биохимического состава, на физико-химические показатели конечного продукта влияет ряд технологических факторов, среди которых способы первичной переработки сырья (получение мезги или выделение сока) [9,10], способ мацерации (с использованием или без использования ферментных препаратов) [11,12,13], условия сбраживания (с применением или без применения активаторов брожения) [14,15,16], параметры и аппаратурное оформление процесса дистилляции [17,18,19], режимы технологических обработок и условия хранения продукции [20,21,22]. В конечном итоге совокупность перечисленных факторов позволяет производителям из конкретного вида сырья получить уникальный по своим органолептическим характеристикам спиртной напиток.

Вместе с тем в связи с высокой стоимостью данной продукции на алкогольном рынке присутствует достаточно большое количество товаров сомнительного качества. При производстве такой продукции недобросовестные производители для повышения выхода спирта при сбраживании добавляют в плодовое сырье сахаросодержащие продукты или заменяют фруктовые (плодовые) дистилляты спиртом, полученным из более дешевого сырья (свекловичного сахара, мелассы, различных видов зерна и т. п.). При этом в действующих нормативных документах содержится ограниченный перечень контролируемых показателей, что не позволяет с достаточной степенью эффективности идентифицировать продукцию по виду использованного сырья и выявлять другие случаи фальсификации. Так, в ГОСТ 32160–2013[1], устанавливающем требования к фруктовым (плодовым) дистиллятам, включены следующие показатели: объемная доля этилового спирта, массовая концентрация летучих веществ, фурфурола, общего диоксида серы, железа и метилового спирта. А в нормативный документ, действующий на территории РФ и регламентирующий требования к плодовым водкам (ГОСТ Р 52135–2003[2]), включены лишь объемная доля этилового спирта, массовая концентрация сахаров, железа, метилового спирта, а также летучих веществ.

Учитывая особое внимание государства к качеству продовольственных товаров, разработка дополнительных идентификационных показателей для всех видов алкогольной продукции, включая спиртные напитки на основе фруктовых (плодовых) дистиллятов, является одним из способов предотвращения реализации фальсифицированной продукции. Для усиления аналитического контроля также необходима разработка эффективных методов определения фальсификата. В настоящее время с целью идентификации фруктовых (плодовых) дистиллятов и спиртных напитков на их основе практикуются следующие основные инструментальные методы, основанные на определении отдельных показателей: определение летучих компонентов с использованием газовой хроматографии [23,24,25], а также изотопная масс-спектрометрия [26,27].

В целом, анализ литературных данных показал, что эффективные комплексные методологические подходы, позволяющие с достаточно высокой степенью достоверности идентифицировать данный вид алкогольной продукции, отсутствует. Вместе с тем, опираясь на ранее проведенные исследования, можно сделать вывод о том, что на первом этапе разработки комплексной методологии оценки качества и идентификации плодовых водок необходимо оценить влияние биохимического состава используемого сырья и способов его переработки на формирование существенных (идентификационных) признаков продукции, которые в дальнейшем будут являться подтверждением ее аутентичности.

Цель данной работы состояла в оценке степени влияния биохимического состава сырья и ряда технологических факторов (способ первичной переработки сырья, способ мацерации, условия сбраживания) на формирование идентификационных критериев спиртных напитков на основе дистиллятов из плодового косточкового сырья.

2. Объекты и методы

В качестве объектов исследования в работе использовали:

- свежее плодовое косточковое сырье (плоды абрикоса и алычи из Республики Дагестан и предгорных районов Кабардино-Балкарии, плоды вишни из Липецкой и Ростовской областей, плоды кизила из Краснодарского края и предгорных районов Кабардино-Балкарии, плоды сливы из Московской области);
- образцы сброженной мезги и сброженного сока, полученные из свежего плодового косточкового сырья (вишня, кизил).

В работе применяли следующие образцы ферментных препаратов:

- «Поликанесцин Г20х» (О1) — комплексный препарат гидролитических ферментов из культуры *Pen. canescens*, с преобладающей пектиназной и гемицеллюлазной активностью (обладающий активностью ксиланазы, Р-1,3–1,4-глюканазы, эндо-Р-1,4-глюканазы, эндо-р-1,4-маннаназы, эндо- и экзополигалактуроназы, кислой протеазы, Р-галактозидазы) («Лекбиотех», Россия);
- «Пектофоетидин П10Х 9» (О2) — комплексный препарат гидролитических ферментов из культуры *Asp. Awamori*, обладающий активностью пектинэстеразы, экзополигалактуроназы, эндополигалактуроназы, кислой протеазы («Биотехнология», Россия);
- «Фруктацим Колор» (О3) — комплексный пектолитический ферментный препарат с преобладающей целлюлолитической и пектинэстеразной активностями, предназначенный для обработки яркоокрашенного растительного сырья с эндо- и экзоглюканазной ферментативной активностью (Erbsloeh Geisenheim AG, Германия);
- «Фруктоцим Флюкс» (О4) — аналог «Фруктоцим Колор», комплексный пектолитический ферментный препарат с более высокой эндо- и экзоглюканазной ферментативной активностью (Erbsloeh Geisenheim AG, Германия).

Также были использованы образцы следующих водных экстрактов активаторов брожения:

- «Активит» — комплексная подкормка, состоящая из инактивированных дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*) (содержание органического азота < 9,5% сухого вещества), диаммония фосфата и тиамина (0,1%). Рекомендована для сусла с дефицитом азота, способствует активному размножению дрожжей и поддержанию бродильной активности (IOC, Франция);
- «Истлайф Экстра» — комплексная смесь растворимых протеинов, аминокислот, минералов (цинк, магний, фосфор) и витаминов. Предназначена для обеспечения быстрого накопления активных дрожжевых клеток, усиления бродильной активности и сохранения заданных свойств расы (Lallamand, Великобритания);
- «Вита Ферм Ультра ФЗ» — мультипитательный комплекс, содержащий инактивированные дрожжи, диаммонийфосфата и тиамин. Применяется для ускорения процесса забраживания, повышения эффективности брожения и с целью снижения образования нежелательных вторичных продуктов брожения (Erbslöh, Германия).

Водные экстракты активаторов брожения были приготовлены путем смешивания сухого компонента и дистиллированной воды в соотношении 1:50, настаивания с периодическим перемешиванием и отделения жидкой фракции путем центрифугирования.

Для оценки биохимического состава плодового косточкового сырья полученные данные представлены в пересчете на 100 г плодовой мезги без косточек.

Массовую концентрацию сахаров определяли по ГОСТ 13192–73[3].

Массовую концентрацию титруемых кислот определяли по ГОСТ 32114–2013[4].

Массовую концентрацию аминокислот определяли методом ВЭЖХ с использованием прибора Agilent Technologies 1200 Series с хроматографической колонкой Luna 5u C18(2) 150×4,6 мм 5 µ (Phenomenex, США) с предколонкой. Пробоподготовку и определение осуществляли в соответствии с ФР. 1.31.2012.13428[5].

[1] ГОСТ 32160–2013 Дистилляты фруктовые (плодовые). Технические условия. — Москва: Стандартинформ, 2018. — 5с.

[2] ГОСТ Р 52135–2003 Плодовые водки. Общие технические условия. — Москва: Стандартинформ, 2007. — 4с.

[3] ГОСТ 13192–73 Вина, виноматериалы и коньяки. Метод определения сахаров. — Москва: Стандартинформ, 2011. — 9 с.

[4] ГОСТ 32114–2013 Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Методы определения массовой концентрации титруемых кислот. — Москва: Стандартинформ, 2013. — 5 с.

[5] ФР. 1.31.2012.13428 Методика измерения массовой концентрации свободных аминокислот в напитках алкогольных и безалкогольных методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, 2012. — 15 с.

Сахаро-кислотный индекс рассчитывали по отношению массовой концентрации редуцирующих сахаров и титруемых кислот (массовая концентрация редуцирующих сахаров / массовая концентрация титруемых кислот).

Объемную долю этилового спирта в сброженной мезге определяли по ГОСТ 32095–2013[6].

Состав и массовую концентрацию летучих компонентов в объектах исследования (сброженное сырье) определяли методом газовой хроматографии на приборе «Кристалл 5000.1» («Хроматек», Россия) с пламенно-ионизационным детектором по ГОСТ 33834–2016[7].

Все эксперименты и вычисления проводились в трех повторностях. При статистической обработке использовали следующие пакеты: pandas (версия 1.5.3), numpy (версия 1.24.2), pingouin (версия 0.5.3), scipy (версия 1.9.1.). Для проверки на нормальность распределения использовался тест Шапиро-Уилка (критический уровень значимости = 0,05). Проверка на гомоскедастичность была выполнена при помощи теста Левене. Дисперсионный анализ для нормально распределенных данных с гомогенными дисперсиями проводился при помощи критерия one-way-ANOVA. Для данных, распределение которых отличалось от нормального, был применен критерий Краскела-Уоллиса. Множественные сравнения корректировались при помощи поправки Бонферрони. Результаты в Таблицах 3 и 4 представляли как среднее значение ± стандартная ошибка среднего. Статистически значимыми считались показатели скорректированного p-значения менее 0,05. В Таблицах 1 и 2 приведены минимальные и максимальные значения конкретного показателя. Количество образцов каждого вида фруктового сырья варьировалось от 5 до 7.

3. Результаты и их обсуждение

Основным принципом разрабатываемой методологии оценки качества и идентификации плодовых водок является комплексный подход, при котором учитываются не только качественные показатели готовой продукции, отраженные в нормативной документации, но и дополнительные показатели, определяемые при углубленном исследовании. Такой подход служит предпосылкой получения объективных результатов, включающих характерные значения показателей физико-химического состава продукции, а также комплекс органолептических характеристик, присущих конкретному продукту.

3.1. Оценка биохимического состава плодового косточкового сырья

В настоящее время в действующем межгосударственном стандарте на фруктовый (плодовый) дистиллят требования к основному сырью изложены в следующей редакции: «плоды свежие культурные и дикорастущие съедобные по нормативным документам, действующим на территории государства, принявшего стандарт. При использовании косточковых плодов спиртовое брожение осуществляют после удаления косточек». При этом не предъявляются особые требования к биохимическому составу конкретных видов сырья. Вместе с тем без их учета не представляется возможным рекомендовать наиболее эффективный способ и рациональные режимы переработки. В связи с этим на первом этапе исследований проведена сравнительная оценка основных показателей, характеризующих биохимический состав изученных образцов свежего плодового косточкового сырья. Установлено, что исследованные образцы сырья характеризовались широкими пределами варьирования всех основных показателей биохимического состава (Таблица 1).

Таблица 1. **Показатели биохимического состава плодового косточкового сырья**

Table 1. **Indicators of the biochemical composition of fruit stone raw materials**

Наименование сырья	Содержание, %				Сахаро-кислотный индекс
	сахаров	титруемых кислот	свободных аминокислот	пектиновых веществ	
Абрикос	7,7–11,8	0,8–1,8	0,10–0,19	0,4–0,8	4,2–14,8
Алыча	4,1–5,6*	1,6–2,0*	0,05–0,12*	0,6–1,2	2,0–3,5
Вишня	9,3–12,0	0,5–1,8	0,06–0,24	0,2–0,6*	5,2–24,0
Кизил	7,3–11,2	1,8–2,4*	0,04–0,08*	0,4–1,2	3,0–6,2
Слива	5,6–12,3	0,6–1,3	0,06–0,30	0,5–1,3	4,3–20,5

[6] ГОСТ 32095–2013 Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Метод определения объемной доли этилового спирта. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 5 с.

[7] ГОСТ 33834–2016 Продукция винодельческая и сырье для ее производства. Газохроматографический метод определения массовой концентрации летучих компонентов. — Москва: Стандартинформ, 2016. — 11 с.

Анализ полученных данных показал, что образцы плодового косточкового сырья незначительно различались между собой по содержанию сахаров, за исключением алычи, в плодах которой этот показатель был ниже в 1,4–3,0 раза. Как известно, содержание сахаров непосредственно влияет на крепость сброженного сырья и на выход дистиллята. Кроме того, сахаристость сырья опосредованно оказывает влияние на величину коэффициентов испарения отдельных летучих компонентов. Спиртуозность сброженного сырья влияет также на органолептические характеристики дистиллята [28,29].

Содержание титруемых кислот в различных видах плодового косточкового сырья варьировалось более широко, что обусловлено сортовыми особенностями, природно-климатическими и погодными условиями конкретного года урожая и местности. Среди исследованных видов плодов наиболее высоким уровнем кислотности характеризовались образцы свежей алычи и кизила. Данный показатель, во-первых, определяет выбор режимных параметров первичной переработки сырья, во-вторых, влияет на процессы новообразования, проходящие при сбраживании и дистилляции [30].

Величина отношения содержания сахаров к содержанию титруемых кислот представляет собой сахарокислотный индекс, который является одним из основных технологических показателей плодового сырья. Установлено, что данный показатель в исследованных видах плодов варьировал в очень широких пределах. Общепринято, что наилучшим вкусом обладают плоды с большим содержанием сахаров и небольшим количеством кислот, т. е. имеющие высокое значение сахарокислотного индекса. Однако при использовании плодового сырья для получения фруктовых (плодовых) дистиллятов и готовой продукции на их основе производители отдают предпочтение сырью с конкретными значениями этого показателя. Это связано, во-первых, с необходимостью обеспечения определенного уровня микробиологической чистоты, т. к. в данном производстве запрещено применение сернистого ангидрида. Во-вторых, определенный уровень кислотности позволяет обеспечить более эффективное прохождение процессов синтеза ценных летучих компонентов при сбраживании и процессов новообразования при дистилляции [31,32].

При оценке качественных показателей плодового сырья важно также знать содержание свободных аминокислот. В отличие от зернового сырья, используемого в т. ч. для производства виски, в котором основная доля органических азотсодержащих веществ представлена белками — потенциальными источниками образования свободных аминокислот, плодовое сырье практически не содержит белков, а органический азот представлен преимущественно свободными аминокислотами. Как показали исследования, минимальным содержанием свободных аминокислот характеризовались образцы плодов алычи и кизила — от 0,04% до 0,12%. Исходя из этого, при переработке данных видов сырья для обеспечения дрожжевой популяции рекомендовано использовать активаторы брожения, содержащие органический азот.

Пектиновые вещества являются потенциальным источником метанола, который образуется вследствие ферментативного отщепления метоксильных групп от метоксилированной полигалактуроновой кислоты в процессе первичной переработки и сбраживания плодового сырья. В составе фруктовых (плодовых) дистиллятов и плодовых водок на их основе в количественном отношении метанол занимает второе место после этилового спирта. При этом, как известно, он обладает высокой токсичностью, и его концентрация строго регламентируется государственными стандартами. Ранее было показано, что содержание метанола в фруктовых (плодовых) дистиллятах коррелирует с концентрацией пектиновых веществ в сырье [33,34,35]. Кроме наличия пектиновых веществ в плодах, используемых для производства дистиллятов, важно учитывать соотношение растворимого пектина и протопектина, массовую долю полигалактуроновой кислоты, содержание метоксильных групп и степень метоксилирования. Все перечисленные параметры оказывают влияние на эффективность перехода компонентов сырья в растворимое состояние, то есть на процесс сокоотдачи, а также определяют содержание метанола в конечном продукте [36,37].

Полученные данные подтверждают различия в биохимическом составе образцов плодового косточкового сырья. В связи с этим для более эффективной переработки каждого вида сырья требуется подбор определенных технологических приемов с целью формирования конкретных качественных характеристик готовой продукции — ее существенных признаков. Поэтому на следующем этапе работы была проведена оценка влияния ряда технологических факторов на качественные показатели сброженного плодового сырья.

3.2. Влияние технологических факторов

Учитывая особенности биохимического состава плодового косточкового сырья, можно выделить следующие технологические факторы, необходимые при производстве фруктового (плодового) дистиллята:

- ❑ способ первичной переработки сырья (получение мезги или выделение сока);
- ❑ способ мацерации — без ферментных препаратов (контроль) и с обработкой ферментными препаратами;
- ❑ способ сбраживания — без активаторов брожения (контроль) и с использованием активаторов брожения.

При анализе сброженной мезги проводили в т. ч. оценку качественного и количественного состава летучих компонентов как веществ, определяющих органолептические показатели и дегустационную оценку готового продукта.

Для изучения влияния способа первичной переработки были использованы два вида плодового косточкового сырья (вишня и кизил), существенно отличающегося по содержанию титруемых кислот и свободных аминокислот (Таблица 1).

Установлено, что, независимо от исходного биохимического состава сырья, сбраживание сока проходит менее эффективно, чем в случае переработки мезги (Таблица 2).

Полученные результаты коррелируют с данными, приведенными в работах [10,38,39,40], и обусловлены тем, что при брожении мезги происходит также ее мацерация и дополнительное извлечение сбраживаемых сахаров под действием ферментативных систем дрожжей. Кроме того, частицы мезги выполняют роль своеобразных насадок, на которых располагаются дрожжевые клетки, что способствует их равномерному распределению по всему объему сырья и ускорению процесса сбраживания сахаров.

При этом необходимо отметить, что сбраживание кизиловой мезги приводило к повышению концентрации метанола, по сравнению со сбраживанием сока, в среднем в 1,3 раза. Аналогичные результаты были получены ранее при сбраживании сливовой мезги, где в образцах наблюдалось увеличение концентрации метанола без значительного повышения объемной доли этилового спирта [41]. Это может быть связано с составом пектинового комплекса (нерастворимый протопектин, растворимый пектин, степень метоксилирования, активность полигалактуроназы и пектинэстеразы).

Образцы сброженного сырья, в зависимости от исходного биохимического состава, различались не только по массовой концентрации титруемых кислот и свободных аминокислот, но и по содержанию основных групп летучих компонентов. В сброженных образцах, полученных из плодов кизила, отмечено более высокое содержание альдегидов и сложных эфиров, по сравнению с аналогичными образцами, полученными из вишни. Кроме того, установлено, что переработка мезги кизила характеризуется меньшим накоплением в сброженном сырье высших спиртов, по сравнению с образцами из вишни. Вероятно, это связано с более высокой кислотностью плодов кизила при пониженном содержании свободных аминокислот, что могло отразиться на метаболизме дрожжей.

Как правило, обработка ферментными препаратами при переработке плодового сырья проводится с целью деструкции биополимеров, приводящей к увеличению сокоотдачи, а также к повышению концентрации сбраживаемых сахаров и ценных ароматобразующих веществ в мезге [42,43].

В зависимости от особенностей биохимического состава плодового сырья и поставленных перед производителем целей (повышение экономической эффективности производства или улучшение качественных характеристик готового продукта), используются определенные комплексные ферментные препараты.

Нами было исследовано влияние ферментных препаратов различного спектра действия на эффективность процесса сбраживания плодовой (кизиловой) мезги с содержанием сахара 9,1%, которую оценивали по накоплению этилового спирта, а также по изменению массовой концентрации летучих компонентов. При проведении процесса мацерации кизиловой мезги использовали: в образце О1 — «Поликанесцин Г20Х»; в образце О2 — «Пектофоетидин П10Х»; в образце О3 — «Фруктоцим Колор»; в образце О4 — «Фруктоцим Флюкс». Результаты исследования влияния обработки ферментными препаратами на качественные показатели сброженной кизиловой мезги представлены в Таблице 3.

Установлено, что все использованные ферментные препараты повышали объемную долю этилового спирта в сброженной мезге, по сравнению с контрольным образцом. Максимальный наброд спирта был зафиксирован в образцах сброженной мезги О2 и О4, что связано с высвобождением и гидролизом углеводсодержащих компонентов. Вместе с тем в образцах О2, О3 и О4 наблюдалось нарастание концентрации метанола, причем в образце О4 его содержание повышалось более, чем на 25%. Выявленный факт по содержанию метанола связан с разницей в активности пектинэстеразы в данных препаратах — в препарате «Фруктоцим Флюкс» активность этого фермента почти в пять раз выше, чем в препарате «Пектофоетидин П10Х» [44].

Влияние обработки ферментными препаратами на увеличение массовой концентрации летучих компонентов, наблюдаемое во всех образцах, подтверждается проведенными ранее исследованиями [43]. Максимальное накопление летучих компонентов, включая высшие спирты, сложные эфиры и фенилэтиловый спирт, было зафиксировано в случае использования комплексных ферментных препаратов, в составе которых присутствовали ферменты с полига-

Таблица 2. **Влияние способа первичной переработки на качественные показатели сброженного плодового сырья**

Table 2. **Influence of the method for primary processing on quality characteristics of fermented raw materials**

Наименование показателя	Вишня		Кизил	
	сок	мезга	сок	Мезга
Объемная доля этилового спирта, %	5,3–6,9	5,6–7,3	4,1–6,4	4,4–6,8
Массовая концентрация:				
• сахаров, г/дм³	3,2–3,5	2,5–3,0	3,5–3,8	3,8–4,0
• титруемых кислот, г/дм³	4,8–11,6[a]	5,2–12,0[a]	12,2–13,8	14,0–15,4
• свободных аминокислот, г/дм³	0,4–0,6[a]	0,8–1,2	0,2–0,3	0,4–0,5[a]
• метанола, мг/дм³ б. с.	2630–3520[a]	2890–3620[a]	3240–3870	3870–4620
• высших спиртов, мг/дм³ б. с.	2650–2790[a]	2630–3050[a]	2610–3820[a]	1710–2610
• альдегидов, мг/дм³ б. с.	80–110[a]	90–120[a]	340–520[b]	460–690[b]
• сложных эфиров, мг/дм³ б. с.	60–80	100–130	130–180	150–230

* *Примечание*: a, b — различия между значениями не считаются достоверными.

Таблица 3. **Влияние обработки ферментными препаратами на качественные показатели сброженной кизиловой мезги**

Table 3. **Influence of treatment with enzyme preparations on quality characteristics of fermented dogwood pulp**

Наименование показателя	Контроль	О1	О2	О3	О4
Объемная доля этилового спирта, %	5,2	5,7	6,0	5,8	6,0
Массовая концентрация, мг/дм³ б. с.:					
• метанола	4224[a] ± 41,63	4407[ab] ± 22,28	4642[bc] ± 52,77	4863[c] ± 31,88	5342 ± 35,04
• высших спиртов	2285[a] ± 43,45	2383[a] ± 15,02	2401[ab] ± 14,84	2547[bc] ± 19,04	2646[c] ± 16,20
• альдегидов	615[ab] ± 4,93	627[abc] ± 4,73	591[a] ± 6,43	639[bc] ± 3,79	674[c] ± 8,72
• сложных эфиров	191[a] ± 3,06	216[ab] ± 6,43	228[b] ± 4,06	306[c] ± 9,45	349[c] ± 9,45
• фенилэтилового спирта	215 ± 2,89	249 ± 3,46	324[a] ± 3,84	341[ab] ± 2,60	367[b] ± 4,58

* *Примечание*: a, b, c — различия между значениями не считаются достоверными.

лактуроназной, цитолитической, ксиланазной и пектинэстеразной активностями (образцы О3 и О4).

Отдельные виды плодового косточкового сырья, как установлено нами (Таблица 1), характеризуются довольно низким содержанием свободных аминокислот. Минимальные значения данного показателя были отмечены в образцах плодов кизила — в пределах от 0,04 до 0,08%. Для достижения требуемого метаболизма дрожжей, который обеспечит высоких выход и качество конечного продукта, в процессе сбраживания мезги, обедненный азотистыми соединениями, в нее вводят активаторы брожения.

В серии экспериментов по изучению влияния активаторов брожения на процесс сбраживания и качественные характеристики сброженного сырья использовали образец плодов кизила с содержанием сахаров 11,2%.

В работе применяли три активатора брожения, различающиеся по составу и соотношению основных азот- и фосфорсодержащих компонентов: «Активит», «Истлайф Экстра», «Вита Ферм Ультра ФЗ».

Было установлено, что внесение активаторов брожения при сбраживании кизиловой мезги приводит к сокращению длительности процесса на 24–48 часов. Кроме того, использование активаторов брожения приводило к изменению концентрации основных летучих компонентов, по сравнению с контролем (Таблица 4).

Так, применение активатора «Вита Ферм Ультра ФЗ» способствовало накоплению минимальной концентрации метанола в сброженной кизиловой мезге, а использование активатора «Истлайф Экстра», напротив, привело к максимальному накоплению метанола в сброженном образце.

Независимо от состава активаторов брожения, их использование приводило к повышению концентрации всех основных групп летучих компонентов (высших спиртов, альдегидов, сложных эфиров, включая энантовые), а также фенилэтилового спирта. Это связано с тем, что в присутствии активаторов брожения дрожжевая популяция получает больше питательных веществ и, как следствие, количество дрожжевой биомассы возрастает, что было показано ранее [45]. В результате деструкции дрожжевых клеток в конце брожения происходит высвобождение свободных аминокислот. Кроме того, синтез аминокислот также зависит от метаболизма дрожжей. Наиболее интенсивное образование высших спиртов и альдегидов было зафиксировано в образцах с использованием активатора «Истлайф Экстра», сложных эфиров — при применении «Активита», а накопление фенилэтилового спирта обуславливалось действием препарата «Вита Ферм Ультра ФЗ».

Таким образом, применение того или иного активатора брожения при сбраживании плодовой мезги позволяет регулировать концентрацию основных летучих компонентов и в целом влиять на качественные показатели конечного продукта, что необходимо учитывать при разработке идентификационных критериев.

4. Выводы

В результате проведенных исследований было установлен, что биохимический состав плодового косточкового сырья и технологические факторы при его переработке оказывают влияние на формирование конкретных качественных показателей готовой продукции, т. е. ее существенных (идентификационных) признаков, которые в дальнейшем будут являться подтверждением ее аутентичности.

Так, способ первичной переработки сырья (получение мезги или выделение сока) влияет на концентрацию метанола, сложных эфиров и высших спиртов в сброженном сырье, а затем окажет влияние и на их содержание в плодовой водке. В частности, сбраживание кизиловой мезги способствовало: увеличению концентрации метанола до 3870–4620 мг/дм³ б. с., что на 630–750 мг/дм³ б. с. больше, чем в сброженном соке; снижению концентрации высших спиртов с 2610–3820 мг/дм³ б. с. в сброженном соке до 1710–2610 мг/дм³ б. с. в сброженной мезге; увеличению концентрации сложных эфиров до 150–230 мг/дм³ б. с. против 130–180 мг/дм³ б. с.

Применение сырья с невысоким содержанием аминокислот приводит к накоплению более низких концентраций основных летучих компонентов в сброженном сырье, а использование активаторов брожения и отдельных ферментных препаратов («Фруктоцим Колор» и «Фруктоцим Флюкс»), напротив, — к увеличению концентрации высших спиртов и сложных эфиров. Так, применение активаторов брожения способствует увеличению их концентрации почти в 2 раза (высших спиртов — до 4697 мг/дм³ б. с., и сложных эфиров — до 469 мг/дм³ б. с.), а внесение ферментных препаратов приводит к возрастанию их количества на 16% и 80% соответственно. Кроме этого, использование активаторов брожения и ферментных препаратов повышает эффективность сбраживания и соответственно увеличивает объемную долю этилового спирта в сброженной мезге.

Таблица 4. **Влияние различных активаторов брожения на качественные показатели сброженной кизиловой мезги**
Table 4. **Influence of different fermentation activators on quality characteristics of fermented dogwood pulp**

Наименование показателя	Контроль(без активатора)	«Активит»	«Истлайф Экстра»	«Вита Ферм Ультра ФЗ»
Объемная доля этилового спирта,%	6,4	6,5	6,6	6,6
Массовая концентрация, мг/дм³ б. с.:				
• метанола	4575[a] ± 98,93	4613[a] ± 177,29	4987 ± 48,79	4171 ± 65,58
• высших спиртов	2609 ± 36,69	4046[a] ± 78,86	4697 ± 100,94	3813[a] ± 37,63
• альдегидов	526[a] ± 4,49	664[a] ± 13,00	751[a] ± 20,30	608[a] ± 8,66
• сложных эфиров	237 ± 5,46	469 ± 11,32	395[a] ± 8,09	356[a] ± 4,58
• фенилэтилового спирта	198 ± 4,41	235 ± 3,18	284 ± 3.84	346 ± 3,61

* *Примечание*: a, b — различия между значениями не считаются достоверными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусейнова, Б. М., Даудова, Т. И. (2018). Влияние сортовых особенностей и природных факторов зон выращивания абрикосов на биохимический комплекс их плодов. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*, 48(3), 7–16. https://doi.org/10.31677/2072–6724–2018–48–3–7–16
2. Iordanescu, O. A., Alexa, E., Lalescu, D., Berbecea, A., Camen, D., Poiana, M.-A. et al. (2018). Chemical composition and antioxidant activity of some apricot varieties at different ripening stages. *Chilean Journal of Agricultural Research,* 78(2), 266–275. http://doi.org/10.4067/S0718–58392018000200266
3. Nikićević, N., Veličković, M., Jadranin, M., Vuckovic, I., Novaković, M. M., Vujisić, L. et al. (2011). The effects of the cherry variety on the chemical and sensorial characteristics of cherry brandy. *Journal of the Serbian Chemical Society,* 76(9), 1219–1228. https://doi.org/10.2298/JSC101201109N
4. Колбас, Н. Ю., Колбас, А. П., Домась, А. С., Првулович, Д. (2020). Оценка биохимических и дегустационных параметров плодов *Prunus cerasus* L. *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*, 2, 49–57. https://doi.org/10.33581/2521–1722–2020–2–49–57
5. Ionica, M. E., Nour, V., Trandafir, I., Cosmulescu, S., Botu, M. (2013). Physical and chemical properties of some European plum cultivars (Prunus domestica L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca,* 41(2), 499–503. https://doi.org/10.15835/nbha4129354
6. Гребенникова, О. А., Полонская, А. К., Горина, В. М., Ежов, В. Н. (2007). Биохимическое обоснование перспективных направлений использования плодов алычи. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*, 95, 69–74.
7. Песчанская, В. А., Дубинина, Е. В., Крикунова, Л. Н., Трофимченко, В. А. (2020). Оценка биохимического состава плодов кизила как сырья для производства дистиллятов. *Пиво и напитки*, 1, 44–47. https://doi.org/10.24411/2072–9650–2020–10009
8. Tenuta, M. C., Deguin, B., Loizzo, M. R., Cuyamendous, C., Bonesi, M., Sicari, V. et al. (2022). An overview of traditional uses, phytochemical compositions and biological activities of edible fruits of European and Asian *Cornus* species. *Foods*, 11(9), Article 1240. https://doi.org/10.3390/foods11091240
9. Оганесянц, Л. А., Рейтблат, Б. Б., Песчанская, В. А., Дубинина, Е. В. (2012). Научные аспекты производства крепких спиртных напитков из плодового сырья. *Виноделие и виноградарство*, 1, 18–19.
10. Оганесянц, Л. А., Песчанская, В. А., Алиева, Г. А., Дубинина, Е. В. (2013). Ресурсосберегающая технология дистиллята из вишневой мезги. *Пищевая промышленность*, 7, 29–31.
11. Shrestha, S., Rahman, M. S., Qin, W. (2021). New insights in pectinase production development and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(24), 9069–9087. https://doi.org/10.1007/s00253–021–11705–0
12. Garg, G., Singh, A., Kaur, A., Singh, R., Kaur, J., Mahajan, R. (2016). Microbial pectinases: an ecofriendly tool of nature for industries. *3Biotech*, 6(1), Article 47. https://doi.org/10.1007/s13205–016–0371–4

13. Martín, M. C., López, O. V., Ciolino, A. E., Morata, V. I., Villar, M. A., Ninago, M.D. (2019). Immobilization of enological pectinase in calcium alginate hydrogels: A potential biocatalyst for winemaking. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18, Article 101091. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101091
14. Urošević, I., Nikocevic, N., Stankovic, L., Anđelković, B., Urosevic, T., Krstic, G. et al. (2014). Influence of yeast and nutrients on the quality of apricot brandy. *Journal of the Serbian Chemical Society,* 79(10), 1223–1234. https://doi.org/10.2298/JSC140125024U
15. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Кузьмина, Е. И., Песчанская, В. А., Борисова, А. Л. (2013). Совершенствование технологии переработки груши для производства дистиллятов. *Виноделие и виноградарство*, 2, 10–13.
16. Крикунова, Л. Н., Дубинина, Е. В., Алиева, Г. А. (2016). Влияние расы дрожжей на процесс сбраживания вишневой мезги для производства дистиллята. *Техника и технология пищевых производств*, 1(40), 24–31.
17. Zhang, J., Zhao, X., Qin, W., Zhang, X., Ma, Z. Sun, Y. (2021). Differences between retort distillation and double distillation in cherry spirits with double-kettle equipment. *International Journal of Food Engineering*, 17(7), 541–549. https://doi.org/10.1515/ijfe-2020–0254
18. Spaho, N. (2017). Distillation techniques in the fruit spirits production. Chapter in a book: Distillation — Innovative Applications and Modeling. IntechOpen: London, UK, 2017.
19. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Рейтблат, Б. Б. (2011). Теория и практика плодового виноделия. М.: Промышленно-консалтинговая группа «Развитие», 2011.
20. Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K., Dziekońska-Kubczak, U., Patelski, P., Różański, M. (2019). Effect of filtration on elimination of turbidity and changes in volatile compounds concentrations in plum distillates. *Journal of Food Science and Technology,* 56(4), 2049–2062. https://doi.org/10.1007/s13197–019–03682–0
21. Różański, M., Pielech-Przybylska, K., Balcerek, M. (2020). Influence of alcohol content and storage conditions on the physicochemical stability of spirit drinks. *Foods*, 9(9), Article 1264. https://doi.org/10.3390/foods9091264
22. Miljić, U. D., Puškaš, V. S., Vučurović, V. M., Razmovski, R. N. (2013). The application of sheet filters in treatment of fruit brandy after cold stabilization. *Acta Periodica Technologica,* 44, 87–94. https://doi.org/10.2298/APT1344087M
23. Bajer, T., Hill, M., Ventura, K., Bajerova, P. (2020). Authentification of fruit spirits using HS-SPME/GC-FID and OPLS methods. *Scientific Reports,* 10, Article 18965. https://doi.org/10.1038/s41598–020–75939–0
24. Stamenković, J., Stojanović, G. (2021). Gas-chromatographic analysis of volatile compounds in different types of commercial alcoholic beverages. *Chemia Naissensis,* 4(2), 15–24.
25. Filatova, M., Bechynska, K., Hajslova, J., Stupak, M. (2022). A comprehensive characterization of volatile profiles of plum brandies using gas chromatography coupled to high resolution mass spectrometry. *LWT*, 167(1), Article 113864. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113864
26. Tabago, M. K. A. G., Calingacion, M. N., Garcia J. (2020). Recent advances in NMR-based metabolomics of alcoholic beverages. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 2, Article 100009. https://doi.org/10.1016/j.fochms.2020.100009
27. Winterová, R., Mikulíková, R., Mazáč, J., Havelec, P. (2008). Assesment of the authenticity of fruit spirits by gas chromatography and stable isotope ratio analyses. *Czech Journal of Food Sciences,* 26(5), 368–375. https://doi.org/10.17221/1610-CJFS
28. Оганесянц, Л. А., Песчанская, В. А., Осипова, В. П., Дубинина, Е. В., Алиева, Г. А. (2013). Качественный и количественный состав летучих компонентов плодовых водок. *Виноделие и виноградарство*, 6, 22–24.
29. Galabova, M., Stoyanov, N., Mitev, P. (October 22–23, 2021). *Primary studies of the composition of distillate beverages produced from Sorbus Domestica fruits.* BIO Web of Conferences. 68th Scientific Conference with International Participation "FOOD SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY — 2021". Plovdiv, Bulgaria. https://doi.org/10.1051/bioconf/20224501012
30. Tešević, V., Nikićević, N., Milosavljević, S., Danica, B., Vajs, V., Vuckovic, I. et al. (2009). Characterization of volatile compounds of "Drenja", an alcoholic beverage obtained from the fruits of Cornelian cherry. *Journal of the Serbian Chemical Society,* 74(2), 117–128. https://doi.org/10.2298/jsc0902117t
31. Rosend, J., Kuldjärv, R., Rosenvald, S., Paalme, T. (2019). The effects of apple variety, ripening stage, and yeast strain on the volatile composition of apple cider. *Helion,* 5(6), Article e01953. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01953
32. Pham, T. M., Sun, W., Bujna, E., Hoschke, Á., Friedrich, L., Nguyen, Q. D. (2021). Optimization of fermentation conditions for production of Hungarian sour cherry spirit using response surface methodology. *Fermentation*, 7, Article 209. https://doi.org/10.3390/fermentation7040209
33. Dimitrov, D., Yoncheva, T., Haygarov, V. (2016). Methanol content in grape and fruit brandies: a major indicator for authenticity and safety. *Ukrainian Food Journal*, 5(2), 237–247. https://doi.org/10.24263/2304–974X-2016–5–2–3
34. Botelho, G., Anjos, O., Estevinho, L. M., Caldeira, I. (2020). Methanol in grape derived, fruit and honey spirits: A critical review on source, quality control, and legal limits. *Processes*, 8, Article 1609. https://doi.org/10.3390/pr8121609
35. Крикунова, Л. Н., Дубинина, Е. В. (2018). Способы снижения содержания метанола в дистиллятах из растительного сырья. *Ползуновский вестник*, 3, 19–24. https://doi.org/10.25712/ASTU.2072–8921.2018.03.004
36. Gawkowska, D., Cybulska, J., Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A Review. *Polymers,* 10(7), Article 762. https://doi.org/10.3390/polym10070762
37. Хайтметова, С. Б., Тураев, А. С., Мухитдинов, Б. И., Халилова, Г. А. (2021). Выделение и физико-химические характеристики пектина из нетрадиционного природного сырья. *Химия растительного сырья*, 4, 75–82. https://doi.org/10.14258/jcprm.2021048412
38. Spaho, N., Dürr, P., Grba, S., Velagić-Habul, E., Blesić, M. (2013). Effects of distillation cut on the distribution of higher alcohols and esters in brandy produced from three plum varieties. *Journal of the Institute of Brewing,* 119(1), 48–56. https://doi.org/10.1002/jib.62
39. Zhang, Q.-A., Fan, X.-H., Zhao, W.-Q., Wang, X.-Y., Liu, H.-Z. (2013). Evolution of some physicochemical properties in Cornus officinalis wine during fermentation and storage. *European Food Research and Technology,* 237(5), 711–719. . https://doi.org/10.1007/s00217–013–2045–3
40. Баланов, П. Е., Смотраева, И. В. (2016). Брожение на мезге при производстве плодово-ягодных виноматериалов. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*, 45, 67–72.
41. Xia, Y., Ma, Y., Hou, L., Wang, J. (2017). Effect of solid or liquid fermentation state, yeast strain, fermentation temperature and time on the flavor content of Jujube (Ziziphus jujuba) brandy. *American Journal of Food Technology,* 12(1), 14–24. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.051
42. Zhang, H., Woodams, E. E., Hang, Y. D. (2012). Factors affecting the methanol content and yield of plum brandy. *Journal of Food Science,* 77(4), T79–T82. https://doi.org/10.1111/j.1750–3841.2011.02587.x
43. Kim, B. H., Park, S. K. (2017). Enhancement of volatile aromatic compounds in black raspberry wines via enzymatic treatment. *Journal of the Institute of Brewing,* 123(2), 277–283. https://doi.org/10.1002/jib.412
44. Киселева, Т. Ф., Зайцева, И. С., Маслова, А. А. (2008). Влияние степени гидролиза пектиновых веществ на стабильность соков. *Пиво и напитки*, 4, 42–44.
45. Оганесянц, Л. А., Крикунова, Л. Н., Дубинина, Е. В., Швец, С. Д. (2020). Оценка перспектив применения активаторов брожения в технологии дистиллятов из плодов кизила. *Ползуновский вестник*, 3, 24–30. https://doi.org/10.25712/ASTU.2072–8921.2020.03.004

REFERENCES

1. Guseinova, B. M., Daudova, T. I. (2018). Impact of variety features and environmental factors of zones where apricots are grown on biochemical complex of apricots. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University),* 48(3), 7–16. https://doi.org/10.31677/2072–6724–2018–48–3–7–16 (In Russian)
2. Iordanescu, Iordanescu, O. A., Alexa, E., Lalescu, D., Berbecea, A., Camen, D., Poiana, M.-A. et al. (2018). Chemical composition and antioxidant activity of some apricot varieties at different ripening stages. *Chilean Journal of Agricultural Research,* 78(2), 266–275. http://doi.org/10.4067/S0718–58392018000200266
3. Nikićević, N., Veličković, M., Jadranin, M., Vuckovic, I., Novaković, M. M., Vujisić, L et al. (2011). The effects of the cherry variety on the chemical and sensorial characteristics of cherry brandy. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 76(9), 1219–1228. https://doi.org/10.2298/JSC101201109N (In Russian)
4. Kolbas, N. Yu., Kolbas, A, P., Domas, A. S., Prvulović, D. (2020). Evaluation of biochemical and tasting parameters of *Prunus cerasus* L. fruits. *Journal of the Belarusian State University. Biology*, 2, 49–57. https://doi.org/10.33581/2521–1722–2020–2–49–57 (In Russian)
5. Ionica, M. E., Nour, V., Trandafir, I., Cosmulescu, S., Botu, M. (2013). Physical and chemical properties of some European plum cultivars (Prunus domestica L.*). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca,* 41(2), 499–503. https://doi.org/10.15835/nbha4129354
6. Grebennikova, O. A., Polonskaya, A. K., Gorina, V. M., Ezhov, V. N. (2007). THE biochemical reasons of perspective directions in using the cherry-plum fruits. *Proceedings of the State Nikitsky Botanical Garden*, 95, 69–74. (In Russian)
7. Peschanskaya, V. A., Dubinina, E. V., Krikunova, L. N., Trofimchenko, V. A. (2020). Assessment of the biochemical composition of dogwood fruitas as a raw material for distillate production. *Beer and Beverage*, 1, 44–47. https://doi.org/10.24411/2072–9650–2020–10009 (In Russian)
8. Tenuta, M. C., Deguin, B., Loizzo, M. R., Cuyamendous, C., Bonesi, M., Sicari, V. et al. (2022). An overview of traditional uses, phytochemical compositions and biological activities of edible fruits of European and Asian *Cornus* species. *Foods*, 11(9), Article 1240. https://doi.org/10.3390/foods11091240
9. Oganesyants, L. A., Reitblat, B. B., Peschanskaya, V. A., Dubinina, E. V. (2012). Scientific aspects of ardent spirits production from fruit raw materials. *Winemaking and Viticulture*, 1, 18–19. (In Russian)
10. Oganesyants, L. A., Peschanskaya, V. A., Aliyeva, G. A., Dubinina, E. V. (2013). Resource-saving technology of distillates from cherry's pomace. *Food Industry,* 7, 29–31. (In Russian)
11. Shrestha, S., Rahman, M. S., Qin, W. (2021). New insights in pectinase production development and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(24), 9069–9087. https://doi.org/10.1007/s00253–021–11705–0
12. Garg, G., Singh, A., Kaur, A., Singh, R., Kaur, J., Mahajan, R. (2016). Microbial pectinases: an ecofriendly tool of nature for industries. *3Biotech*, 6(1), Article 47. https://doi.org/10.1007/s13205–016–0371–4
13. Martín, M. C., López, O. V., Ciolino, A. E., Morata, V. I., Villar, M. A., Ninago, M. D. (2019). Immobilization of enological pectinase in calcium alginate hydrogels: A potential biocatalyst for winemaking. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18, Article 101091. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101091
14. Urošević, I., Nikocevic, N., Stankovic, L., Anđelković, B., Urosevic, T., Krstic, G. et al. (2014). Influence of yeast and nutrients on the quality of apricot brandy. *Journal of the Serbian Chemical Society,* 79(10), 1223–1234. https://doi.org/10.2298/JSC140125024U
15. Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., Kuzmina, E. I., Peschanskaya, V. A., Borisova, A. L. (2013). Improving the technology of processing of pears for distillates production. *Winemaking and Viticulture*, 2, 10–13. (In Russian)
16. Krikunova, L. N., Dubinina, E. V., Alieva, G. A. (2016). The influence of the yeast race on the fermentation process of cherry pulp for distillate production. *Food Processing: Techniques and Technology,* 1(40), 24–31. (In Russian)
17. Zhang, J., Zhao, X., Qin, W., Zhang, X., Ma, Z. Sun, Y. (2021). Differences between retort distillation and double distillation in cherry spirits with double-kettle equipment. *International Journal of Food Engineering*, 17(7), 541–549. https://doi.org/10.1515/ijfe-2020–0254

18. Spaho, N. (2017). Distillation techniques in the fruit spirits production. Chapter in a book: Distillation — Innovative Applications and Modeling. IntechOpen: London, UK, 2017.
19. Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., Rejtblat, B. B. (2011). Theory and practice of fruit winemaking. Moscow: Industrial consulting group «Development», 2011. (In Russian)
20. Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K., Dziekońska-Kubczak, U., Patelski, P., Różański, M. (2019). Effect of filtration on elimination of turbidity and changes in volatile compounds concentrations in plum distillates. *Journal of Food Science and Technology,* 56(4), 2049–2062. https://doi.org/10.1007/s13197–019–03682–0
21. Różański, M., Pielech-Przybylska, K., Balcerek, M. (2020). Influence of alcohol content and storage conditions on the physicochemical stability of spirit drinks. *Foods*, 9(9), Article 1264. https://doi.org/10.3390/foods9091264
22. Miljić, U. D., Puškaš, V. S., Vučurović, V. M., Razmovski, R. N. (2013). The application of sheet filters in treatment of fruit brandy after cold stabilization. *Acta Periodica Technologica,* 44, 87–94. https://doi.org/10.2298/APT1344087M
23. Bajer, T., Hill, M., Ventura, K., Bajerova, P. (2020). Authentification of fruit spirits using HS-SPME/GC-FID and OPLS methods. *Scientific Reports,* 10, Article 18965. https://doi.org/10.1038/s41598–020–75939–0
24. Stamenković, J., Stojanović, G. (2021). Gas-chromatographic analysis of volatile compounds in different types of commercial alcoholic beverages. *Chemia Naissensis,* 4(2), 15–24.
25. Filatova, M., Bechynska, K., Hajslova, J., Stupak, M. (2022). A comprehensive characterization of volatile profiles of plum brandies using gas chromatography coupled to high resolution mass spectrometry. *LWT*, 167(1), Article 113864. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113864
26. Tabago, M. K. A. G., Calingacion, M. N., Garcia J. (2020). Recent advances in NMR-based metabolomics of alcoholic beverages. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 2, Article 100009. https://doi.org/10.1016/j.fochms.2020.100009
27. Winterová R., Mikulíková, R., Mazáč, J., Havelec, P. (2008). Assesment of the Authenticity of Fruit Spirits by Gas Chromatography and Stable Isotope Ratio Analyses. *Czech Journal of Food Sciences*, 26(5), 368–375. https://doi.org/10.17221/1610-CJFS
28. Oganesyants, L. A., Peschanskaya, V. A., Osipova, V. P., Dubinina, E. V., Alieva, G.A. (2013). Qualitative and quantitative composition of volatile components of fruit vodkas. *Winemaking and Viticulture*, 6, 22–24. (In Russian)
29. Galabova, M., Stoyanov, N., Mitev, P. (October 22–23, 2021). *Primary studies of the composition of distillate beverages produced from Sorbus Domestica fruits*. BIO Web of Conferences. 68th Scientific Conference with International Participation "FOOD SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY — 2021". Plovdiv, Bulgaria. https://doi.org/10.1051/bioconf/20224501012
30. Tešević, V., Nikićević, N., Milosavljević, S., Danica, B., Vajs, V., Vuckovic, I. et al. (2009). Characterization of volatile compounds of "Drenja", an alcoholic beverage obtained from the fruits of Cornelian cherry. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 74(2), 117–128. https://doi.org/10.2298/jsc0902117t
31. Rosend, J., Kuldjärv, R., Rosenvald, S., Paalme, T. (2019). The effects of apple variety, ripening stage, and yeast strain on the volatile composition of apple cider. *Helion,* 5(6), Article e01953. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01953
32. Pham, T. M., Sun, W., Bujna, E., Hoschke, Á., Friedrich, L., Nguyen, Q. D. (2021). Optimization of fermentation conditions for production of Hungarian sour cherry spirit using response surface Methodology. *Fermentation*, 7, Article 209. https://doi.org/10.3390/fermentation7040209
33. Dimitrov, D., Yoncheva, T., Haygarov, V. (2016). Methanol content in grape and fruit brandies: a major indicator for authenticity and safety. *Ukrainian Food Journal*, 5(2), 237–247. https://doi.org/10.24263/2304–974X-2016–5–2–3
34. Botelho, G., Anjos, O., Estevinho, L. M., Caldeira, I. (2020). Methanol in grape derived, fruit and honey spirits: A critical review on source, quality control, and legal limits. *Processes*, 8, Article 1609. https://doi.org/10.3390/pr8121609
35. Krikunova, L. N., Dubinina, E. V. (2018). Methods for reducing the methanol content in distillates from vegetable raw materials. *Polzunovsky Vestnik,* 3, 19–24. https://doi.org/10.25712/ASTU.2072–8921.2018.03.004 (In Russian)
36. Gawkowska, D., Cybulska, J., Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A Review. *Polymers,* 10(7), Article 762. https://doi.org/10.3390/polym10070762
37. Khaytmetova, S. B., Turaev, A. S., Muhitdinov, B. I., Khalilova, G. A. (2021). Isolation and physicochemical characterization of pectin from nonconventional natural raw materials. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya,* 4, 75–82. https://doi.org/10.14258/jcprm.2021048412 (In Russian)
38. Spaho, N., Dürr, P., Grba, S., Velagić-Habul, E., Blesić, M. (2013). Effects of distillation cut on the distribution of higher alcohols and esters in brandy produced from three plum varieties. *Journal of the Institute of Brewing,* 119(1), 48–56. https://doi.org/10.1002/jib.62
39. Zhang, Q.-A., Fan, X.-H., Zhao, W.-Q., Wang, X.-Y., Liu, H.-Z. (2013). Evolution of some physicochemical properties in Cornus officinalis wine during fermentation and storage. *European Food Research and Technology,* 237(5), 711–719. https://doi.org/10.1007/s00217–013–2045–3
40. Balanov, P. E., Smotraeva, I. V. (2016). Fermentation on pulp in the production of fruit and berry wine materials. *Izvesniya Saint-Petersburg State Agrarian University,* 45, 67–72. (In Russian)
41. Xia, Y., Ma, Y., Hou, L., Wang, J. (2017). Effect of solid or liquid fermentation state, yeast strain, fermentation temperature and time on the flavor content of Jujube (Ziziphus jujuba) brandy. *American Journal of Food Technology,* 12(1), 14–24. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.051
42. Zhang, H., Woodams, E. E., Hang, Y. D. (2012). Factors affecting the methanol content and yield of plum brandy. *Journal of Food Science,* 77(4), T79–T82. https://doi.org/10.1111/j.1750–3841.2011.02587.x
43. Kim, B. H., Park, S. K. (2017). Enhancement of volatile aromatic compounds in black raspberry wines via enzymatic treatment. *Journal of the Institute of Brewing,* 123(2), 277–283. https://doi.org/10.1002/jib.412
44. Kiseleva, T. F., Zajceva, I. S., Maslova, A. A. (2008). The effect of the degree of hydrolysis of pectin substances on the stability of juices. *Beer and Beverage,* 4, 42–44. (In Russian)
45. Oganesyanc, L. A., Krikunova, L. N., Dubinina, E. V., Shvec, S. D. (2020). Evaluation of prospects for the use of fermentation activators in the technology of distillates from dogwood fruits. *Polzunovsky Vestnik*, 3, 24–30. https://doi.org/10.25712/ASTU.2072–8921.2020.03.004 (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Крикунова Людмила Николаевна — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7–910–465–95–88 E-mail: labcognac@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–7335–0453	**Ludmila N. Krikunova**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, Department of Spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7–910–465–95–88 E-mail: labcognac@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–7335–0453
Томгорова Светлана Михайловна — научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7–916–771–58–97 E-mail: tomgorovasm@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0002–6913–9006 * автор для контактов	**Svetlana M. Tomgorova**, Researcher, Department of Spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7–916–771–58–97 E-mail: tomgorovasm@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0002–6913–9006 * corresponding author
Захарова Варвара Александровна — младший научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7–499–246–66–12 E-mail: labcognac@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–1862–7410	**Varvara A. Zaharova**, Junior Research, Department of Spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7–499–246–66–12 E-mail: labcognac@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–1862–7410

Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-416-423

Поступила 28.06.2023
Поступила после рецензирования 26.09.2023
Принята в печать 28.09.2023
© Свириденко Г. М., Шишкина А. Н., Калабушкин В. В., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ СЫРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЦЦЫ

Свириденко Г. М., Шишкина А. Н.*, Калабушкин В. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, Углич, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
функциональные свойства, сыр, пицца, органолептические свойства, шкала оценки, корреляционный анализ

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследования органолептических, физико-химических, структурно-механических (реологических) и биохимических показателей, а также функциональных свойств натуральных сыров различных видовых групп для возможности использования в качестве основного сырья с целью производства пиццы. Сыры вырабатывались в экспериментальном цехе ВНИИМС и приобретались в торговой сети. Органолептические показатели (вкус и запах, консистенция, внешний вид) и функциональные свойства (натираемость, плавимость, образование блистеров, выделение свободного жира, сгораемость, растяжимость) сыров различных групп оценивали по 100-балльной шкале оценки сыров для пиццы, разработанной во ВНИИМС. Натираемость определяли до выпечки путем измельчения охлажденного до 4 ± 2 °С образца сыра на кухонном измельчителе пищевых продуктов. Выпечку сыров проводили при температуре 200 ± 5 °С в течение 12 мин. Плавимость определяли по изменению диаметра сыра после высокотемпературной обработки, а растяжимость — с помощью вилочного теста. Установлено, что физико-химические, структурно-механические и биохимические показатели сыров, используемых в качестве сырья, влияют на органолептические показатели и функциональные свойства конечного продукта после выпечки. Статистически достоверно подтверждена взаимосвязь между содержанием жира, массовой долей белка и активной кислотностью сыров и такими функциональными свойствами, как плавимость, выделение свободного жира, растяжимость и натираемость. Наибольшее взаимодействие отмечено между натираемостью, массовой долей общего белка и консистенцией (коэффициент корреляции равен 0,74 и 0,76 соответственно). Однако ни один из исследованных видов сыра в полной мере не соответствует искомым функциональным свойствам. Для производства пиццы наиболее предпочтительно использовать сыры с чеддеризацией и термомеханической обработкой сырной массы, а также незрелые полутвердые сыры с низкой температурой второго нагревания, формуемые из пласта, и полутвердые сыры с высокой температурой второго нагревания.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья опубликована в рамках темы исследования № FNEN-2019–0011 государственного задания Федерального исследовательского центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН.

Received 28.06.2023
Accepted in revised 26.09.2023
Accepted for publication 28.09.2023
© Sviridenko G. M., Shishkina A. N., Kalabushkin V. V., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

POSSIBILITY OF USING NATURAL CHEESES FOR PIZZA PRODUCTION

Galina M. Sviridenko, Anastasiya N. Shishkina*, Vasiliy V. Kalabushkin

All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking, Uglich, Russia

KEY WORDS:
functional properties, cheese, pizza, sensory properties, rating scale, correlation analysis

ABSTRACT

The paper presents the results of studying sensory, physico-chemical, structural-mechanical (rheological) and biochemical indicators as well as functional properties of natural cheeses of various type groups for a possibility of using as a main raw material to produce pizza. Cheeses were produced in the research-and-development shop of the All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking (VNIIMS) and purchased in the retail chain. Sensory indicators (taste and odor, consistency, appearance) and functional properties (shreddability, meltability, blistering, free oil release, browning, stretchability) of cheeses from various groups were assessed by 100-point scale for assessing cheeses for pizza developed in VNIIMS. Shreddability was determined before baking by grinding a cheese sample chilled to a temperature of 4 ± 2 °C using a kitchen food grinder. Cheeses were baked at a temperature of 200 ± 5 °C for 12 min. Meltability was determined by changes in the cheese diameter after high-temperature treatment and stretchability by the "fork test". It has been found that physico-chemical, structural-mechanical and biochemical indicators of cheeses used as a raw material affected sensory characteristics and functional properties of the final product after baking. The correlation between the fat content, protein mass fraction and active acidity of cheeses and functional properties such as meltability, free oil release, stretchability and shreddability was confirmed with statistical significance. The highest correlation was noted between shreddability, mass fraction of total protein and consistency (correlation coefficients were 0.74 and 0.76, respectively). However, none of the studied cheese types corresponded to the full extent to the targeted functional properties. To produce pizza, it is preferable to use cheeses with cheddaring and thermal-mechanical processing of cheese mass as well as unripened semihard cheeses with low temperature of the second heating that are molded from a layer, and semihard cheeses with high temperature of the second heating.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-2019–0011 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Свириденко, Г. М., Шишкина, А. Н., Калабушкин, В. В.** (2023). Возможность применения натуральных сыров для производства пиццы. *Пищевые системы*, 6(3), 416-423. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-416-423

FOR CITATION: **Sviridenko, G. M., Shishkina, A. N., Kalabushkin, V. V.** (2023). Possibility of using natural cheeses for pizza production. *Food Systems,* 6(3), 416-423. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-416-423

1. Введение

В последние годы в мире растет рынок продуктов в сегменте HoReCa, лидирующее положение в котором занимает пицца. Начинки пиццы сильно варьируются в зависимости от рецептуры, но обязательным ингредиентом остается сыр. В мировой практике насчитывается более 5000 видов сыров, и только около десятка видов используются при приготовлении пиццы [1,2]. Для производства пиццы традиционно применялись натуральные сыры, однако из-за их высокой стоимости в настоящее время чаще всего используют термизированные сыры, выработанные на основе натуральных сыров с добавлением эмульгирующих солей и прошедшие термомеханическую обработку при температуре 72±3 °С [3].

Особым требованием к сырам для пиццы является наличие специфических функциональных свойств, таких как натираемость (измельчаемость, нарезаемость), плавимость, сгораемость, количество и цвет блистеров, выделение свободного жира и растяжимость после выпечки.

Перед выпечкой пиццы проводят измельчение сыра. Способность к натиранию описывают как способность к аккуратному измельчению сыра на длинные тонкие полоски (стружку) одинакового размера без образования сырной крошки. Ученые установили, что сыры, выработанные из пастеризованного молока, измельчаются лучше, чем сыры, выработанные из сырого молока [4]. Jana с соавторами [5] выяснили, что частично обезжиренная Моцарелла и сыр с низким содержанием влаги натираются лучше традиционного сыра Моцарелла. Во время созревания и хранения сыров происходит размягчение белковой матрицы, что улучшает способность продукта к измельчению. Основной структурной характеристикой, связанной с измельчением сыра, является твердость. Чем тверже сыр, тем лучше качество измельчения [6,7]. Однако если сыр твердый и сухой, то наблюдается крошливость и колкость при натирании. Мягкий сыр обычно имеет плохие характеристики измельчения, поскольку он прилипает к лезвию измельчителя и образуются слипающиеся частицы, которые невозможно равномерно нанести на поверхность пиццы [7,8].

Большинство искомых функциональных свойств сыра, таких как плавимость, сгораемость, выделение свободного жира, количество и цвет блистеров, растяжимость, оценивают после выпечки. Плавимость следует рассматривать как свойство уже натертых частиц сыра превращаться при нагревании в сплошную однородную массу. В работах ряда авторов отмечено, что плавимость связана со свойствами теплопередачи, с реологическими характеристиками сыра, содержанием влаги и жира, а также со сроками хранения [9–11]. В исследованиях Dave с коллегами [12] приводятся данные о наиболее значимом влиянии на плавимость массовой доли жира в сыре. С 2016 года ряд ученых отмечают, что наибольшее влияние на плавимость сыров оказывает соотношение белка и жира [13,14]. Для повышения точности и согласованности определения плавимости сыров в исследованиях стали применять метод компьютерного зрения. Однако доказано, что результаты измерения плавимости классическими методами более воспроизводимы [14,15].

После выпечки пиццы наблюдается изменение цвета расплавленного сыра, которое относится к функциональному свойству — сгораемости. Требования к внешнему виду сыра для пиццы в разных сетях HoReCa могут отличаться. Например, в некоторых случаях необходим светлый или темно-коричневый цвет при выпекании. Изменение цвета сыра является результатом реакции Майяра (химическая реакция между аминокислотами и сахарами, которая происходит при нагревании) [14,16]. Ma с соавторами [17,18] установили, что степень сгораемости зависит от применяемой закваски при производстве сыра Моцарелла и определяется количеством несброженной галактозы. Сгораемость можно определить визуально с помощью колориметра и компьютерного зрения [19].

Во время выпечки пиццы при испарении влаги и в результате накопления воздуха между слоями расплавленного сыра на ее поверхности часто образуются блистеры, цвет которых влияет на оценку сгораемости. По мере появления блистера его верхняя часть становится тоньше, выделившийся жир стекает с поверхности блистера, испаряется влага и происходит потемнение блистера [14,17,18]. Ma с соавторами [20] установили, что у сыров Чеддер, Колби и Эдам не образуются блистеры во время выпечки пиццы из-за их малой эластичности. Достаточное количество выделившегося свободного жира предотвращает испарение влаги, поэтому на расплавленных сырах Грюйер и Проволоне наблюдаются блистеры светлого цвета, однородно распределенные по всей поверхности пиццы. Сыр Моцарелла обладает высокой эластичностью и влажностью, что способствует образованию крупных блистеров темного цвета [20]. В работе Yun и соавторов [21] отмечается, что на размер и форму блистеров влияет содержание влаги в сыре.

На поверхности большинства готовых пицц визуально наблюдается выделение свободного жира в виде маслянистого слоя, что является значимым функциональным свойством при оценке пригодности сыров для пиццы [14]. В исследованиях зарубежных ученых сообщается, что выделение свободного жира зависит от массовой доли жира и от размера жировых глобул в сыре [22,23].

Наиболее важным функциональным свойством сыров для пиццы является растяжимость сырной нити после выпечки. Это свойство оценивается по длине сырной нити при растяжении, когда к ней приложено постоянное усилие, направленное либо вертикально вверх, либо горизонтально [8,16]. В работах ряда авторов установлено, что сыры с более высоким содержанием кальция требуют большей силы для растяжения, а полножирные сыры растягиваются лучше, чем обезжиренные [24,25].

В большинстве научных работ приводятся данные по изучению отдельных функциональных свойств преимущественно сыров с чеддеризацией сырной массы. Поэтому считаем научно обоснованным проведение исследований комплекса функциональных свойств различных групп натуральных сыров с целью установления их пригодности для приготовления пиццы, что послужит основанием для подбора сыра — сырья для получения пиццы с искомыми потребительскими характеристиками.

2. Объекты и методы

2.1. Объекты

Объектами исследований являлись натуральные сыры, выработанные в экспериментальном цехе ВНИИМС и приобретенные в торговой сети (Таблица 1).

Таблица 1. **Объекты исследования**

Table 1. **Research objects**

№ образца	Количество исследованных образцов	Вид сыра	Степень зрелости
1	16	Твердые сыры с высокой температурой второго нагревания	Зрелый
2	18	Полутвердые сыры с низкой температурой второго нагревания, формуемые из пласта	Незрелый
3	18		Зрелый
4	17	Полутвердые сыры пониженной жирности с пропионовокислыми микроорганизмами	Незрелый
5	17		Зрелый
6	16	Полутвердые сыры с низкой температурой второго нагревания и с повышенным уровнем молочнокислого процесса, формуемые насыпью	Незрелый
7	16		Зрелый
8	15	Полутвердые сыры с высокой температурой второго нагревания	Зрелый
9	14	Полутвердые сыры, созревающие при участии плесени *Penicillium roqueforti*	Зрелый
10	22	Полутвердые сыры, изготовленные с чеддеризацией сырной массы	Зрелый
11	17	Полутвердые низкожирные сыры с чеддеризацией и термомеханической обработкой сырной массы	Без созревания
12	22	Мягкие сыры с чеддеризацией и термомеханической обработкой сырной массы	Зрелый
13	16	Мягкие сыры, обогащенные пробиотическими микроорганизмами	Без созревания
14	18	Рассольные сыры с низкой температурой второго нагревания	Зрелый (с коротким сроком созревания)
15	19	Рассольные сыры без второго нагревания	Зрелый (с коротким сроком созревания)

2.2. Методы исследований

В сырах определяли массовую долю жира в сухом веществе кислотным методом и массовою долю влаги по ГОСТ Р 55063–2012[1]. Активную кислотность измеряли при помощи потенциометрического анализа по ГОСТ 32892–2014[2].

Массовую долю азота определяли методом Кьельдаля по ГОСТ Р 54662–2011[3]. Степень протеолиза — по отношению массовой доли растворимого азота к массовой доле общего азота, выраженному в процентах.

Исследования структурно-механических (реологических) свойств проводили на реогониометре Вайссенберга модели R-19 фирмы Sangamo Weston Controls Limited (Великобритания), фиксируя изменения комплексного модуля сдвига (G^*), модуля упругости (G'), модуля потерь (G'') и динамическую вязкость (η'). Образцы сыра, заполняющего пространство между конической поверхностью и плоскостью, подвергали синусоидально измеряющейся сдвиговой деформации известной амплитуды и частоты. Исследования проводили в режиме периодического сдвигового деформирования с рабочими органами «конус-плоскость» диаметром 25 мм, с углом при вершине конуса 0,034 радиан, амплитудой угловых перемещений рабочих органов $1{,}54 \cdot 10^{-3}$ рад, чем достигалась линейность данного режима. Измерения выполняли при частоте f = 3,16 Гц. Термостатирование образца сыра при температуре 18±3 °С осуществляли непосредственно в реогониометре. Обработка экспериментальных данных проводилась в автоматическом режиме с помощью системы сбора и обработки данных. Вычисляли отношение модуля потерь к модулю упругости (tg δ).

Измельчение и исследование натираемости сыров проводили с помощью кухонного инструмента для измельчения пищевых продуктов. Перед натираемостью сыры охлаждали до температуры 4±2 °С. Оценивали способность к измельчению, налипаемость исследованных образцов на измельчитель, однородность и липкость стружки, описанной в работе Свириденко с соавторами [26].

Плавимость измеряли с помощью модифицированного метода, описанного Muthukumarappan с соавторами [27]. 80–90 г образца сыра измельчали и помещали в середину фарфоровой тарелки, формируя окружность диаметром 80±2 мм. Тарелку с сыром помещали в лабораторный шкаф (сушильный шкаф с конвекцией HS61A, Chirana, Словакия) и выпекали образец при 200±5 °С в течение 12 мин. Образец охлаждали при комнатной температуре 2–5 мин и измеряли диаметр. Плавимость определяли как разность диаметров сыра после и до выпечки.

Сгораемость, выделение свободного жира и образование блистеров исследовали визуально после высокотемпературной обработки. В работе [26] даны подходы к оценке данных показателей.

Растяжимость определяли вилочным тестом после выпекания [28,29]. Для этого 100 г измельченного сыра помещали на фарфоровую плоскую поверхность и отправляли выпекаться в сушильный шкаф (сушильный шкаф с конвекцией HS61A, Chirana, Словакия) при температуре 200±5 °С в течение 12 мин. По истечении времени выпекания сыр охлаждали при комнатной температуре 1–3 мин. Затем вилку погружали в расплавленный сыр на 1–3 мм и медленно, с постоянной скоростью поднимали вверх до разрыва всех нитей. Растяжимость определяли по средней длине сырных нитей, взятых из трех различных мест исследованного образца.

Органолептические и функциональные свойства оценивали с помощью шкалы оценки сыров для пиццы, разработанной во ВНИИМС. Максимальное количество баллов за вкус и запах — 30; за консистенцию — 15; за внешний вид — 5; за натираемость — 5; за плавимость — 10; за образование (количество и цвет) блистеров — 5; за выделение свободного жира — 5; за сгораемость — 10 и за растяжимость — 15 баллов [26].

Исследования проводили не менее чем в 3-кратной повторности. Математическую обработку результатов и построение графиков осуществляли с использованием компьютерной программы Microsoft Excel 2010 и пакета Statistica 10.0. Для попарного сравнения выборок разного размера и оценки статистически значимых различий между образцами применяли HSD тест (критерий Тьюки). Определение линейной взаимосвязи функциональных свойств и исследованных показателей проводили с помощью корреляционного анализа. Уровень значимости принимали как $p \leqslant 0{,}05$. Оценку значимости коэффициентов корреляции осуществляли с помощью критерия Стьюдента.

3. Результаты и обсуждение

Результаты органолептической оценки вкуса и запаха, консистенции и внешнего вида образцов различных видовых групп сыров, исследуемых в качестве основного ингредиента при производстве пиццы, приведены в Таблице 2.

Результаты, представленные в Таблице 2, показывают, что все сыры по органолептическим показателям соответствуют характеристикам, указанным в нормативно-технической документации на конкретный вид сыра. В процессе созревания сыров, относящихся к одной группе, закономерно улучшаются органолептические показатели, что приводит к повышению балльной оценки. Можно предположить, что после выпечки выраженность вкуса сыров незначительно уменьшится.

Физико-химические показатели исследованных сыров представлены в Таблице 3.

[1] ГОСТ Р 55063–2012 «Сыры и сыры плавленые. Правила приемки, отбор проб и методы контроля». — М.: Стандартинформ, 2013. — 28 с.

[2] ГОСТ 32892–2014 «Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности». — М.: Стандартинформ, 2015. — 10 с.

[3] ГОСТ Р 54662–2011 «Сыры и сыры плавленые. Определение массовой доли белка методом Кьельдаля». — М.: Стандартинформ, 2012. — 16 с.

Таблица 2. **Средняя органолептическая оценка исследованных сыров различных видовых групп**

Table 2. **Average sensory evaluation scores of the studied cheeses of various type groups**

№ образца	Вкус и запах	Оценка, балл	Консистенция	Оценка, балл
1	Выраженный сырный, с карамельно-фруктовыми нотами	29±1	Плотная, слегка пластичная, молочный камень, ломкая	14±1
2	Слабовыраженный сырный, слабый посторонний	25±2	Плотная, резинистая	12±1
3	Выраженный сырный, кисловатый	28±1	Эластичная, однородная	14±1
4	Слабовыраженный сырный, слабый кислый, слабый посторонний	28±2	Эластичная, плотная, резинистая, однородная	13±1
5	Выраженный сырный с легкой горчинкой и остротой, умеренно соленый	29±1	Хорошая, слегка плотная	14±1
6	Слабовыраженный сырный, кислый, слабый посторонний	27±1	Эластично-пластичная, слегка мучнистая	13±1
7	Выраженный сырный, умеренно кислый	28±1	Умеренно эластичная, однородная	14±1
8	Слабовыраженный сырный, слабо пряный, кисловатый, слабый посторонний	27±3	Плотная, эластичная	13±1
9	Слабовыраженный сырный, соленый, кисловатый, горький, слабовыраженный липолизный, легкий посторонний	26±2	Крошливая, творожистая, пластичность только у корки	10±2
10	Слабовыраженный сырный, слегка кислый, слабый сливочный	29±1	Слегка несвязная, слабослоистая, пластичная, мучнистая	11±2
11	Кисломолочный	28±1	Хорошая слоистость, резинистая	13±1
12	Кисломолочный, слабосоленый	29±1	Нежная, пластичная, слегка упругая, слегка слоистая	14±1
13	Кисломолочный, солоноватый	28±1	Нежная, однородная	13±1
14	Чистый, кисломолочный, соленый	29±1	Однородная, умеренно плотная	14±1
15	Слабовыраженный сырный, соленый	29±1	Однородная, умеренно плотная	14±1

Примечание: внешний вид всех образцов, характерный для сыров конкретного наименования, — 5 баллов.

Таблица 3. **Средние физико-химические показатели исследованных сыров различных видовых групп**

Table 3. **Average physico-chemical parameters of the studied cheese of various type groups**

№ образца	Количество исследованных сыров	Активная кислотность, ед. pH	Массовая доля влаги, %	Массовая доля жира в сухом веществе, %
1	16	5,74 ± 0,04 [a]	31,30 ± 0,49 [a]	45,00 ± 0,29
2	18	5,26 ± 0,08 [b]	40,96 ± 0,96 [b]	45,00 ± 0,72
3	18	4,90 ± 0,20 [c]	38,90 ± 1,28 [c]	45,00 ± 1,32
4	17	5,30 ± 0,10 [db]	50,90 ± 1,47 [d]	30,00 ± 1,68
5	17	5,23 ± 0,09 [ebd]	46,80 ± 1,84 [e]	30,00 ± 1,34
6	16	5,15 ± 0,09 [fbe]	40,80 ± 1,18 [b]	50,00 ± 1,18
7	16	5,12 ± 0,06 [gf]	39,00 ± 1,12 [cf]	50,00 ± 0,99
8	15	5,40 ± 0,10 [hd]	38,00 ± 1,55 [cf]	45,00 ± 1,08
9	14	6,38 ± 0,08 [i]	49,70 ± 0,57 [dg]	50,00 ± 0,66
10	22	5,43 ± 0,10 [h]	43,20 ± 1,41 [h]	48,00 ± 1,27
11	17	5,10 ± 0,08 [efg]	48,80 ± 1,34 [g]	20,00 ± 0,60
12	22	5,60 ± 0,07 [j]	51,50 ± 1,43 [di]	40,00 ± 1,13
13	16	5,23 ± 0,06 [bdefgk]	54,60 ± 1,11 [j]	45,00 ± 1,26
14	18	5,26 ± 0,04 [bdefkl]	52,40 ± 1,59 [dik]	45,00 ± 1,54
15	19	5,30 ± 0,04 [bdehkl]	53,60 ± 1,73 [jk]	45,00 ± 1,13

Примечание: значения с одинаковым индексом в одном столбце статистически значимо не отличаются (p > 0,05).

Таблица 4. **Среднее содержание азота и степень протеолиза в исследованных сырах различных видовых групп**

Table 4. **Average nitrogen content and a degree of proteolysis in the studied cheeses of various type groups**

№ образца	Количество исследованных сыров	Массовая доля общего белка, %	Массовая доля водорастворимого белка, %	Степень протеолиза, %
1	16	34,00 ± 0,46 [a]	8,50 ± 0,09 [a]	25,01 ± 0,33 [a]
2	18	27,00 ± 0,72 [b]	1,50 ± 0,03 [b]	5,57 ± 0,16 [b]
3	18	27,00 ± 0,76 [cb]	4,50 ± 0,07 [c]	16,69 ± 0,50 [c]
4	17	32,01 ± 0,59 [d]	2,60 ± 0,05 [d]	8,14 ± 0,24 [d]
5	17	33,20 ± 0,86 [e]	7,20 ± 0,52 [e]	21,67 ± 0,51 [e]
6	16	24,50 ± 0,38 [f]	1,30 ± 0,06 [f]	5,32 ± 0,32 [b]
7	16	27,50 ± 0,79 [gbc]	4,30 ± 0,04 [g]	15,66 ± 0,38 [f]
8	15	25,30 ± 0,09 [h]	6,70 ± 0,08 [h]	26,46 ± 0,35 [g]
9	14	19,60 ± 0,12 [i]	2,30 ± 0,06 [i]	11,75 ± 0,28 [h]
10	22	34,80 ± 0,48 [j]	7,30 ± 0,04 [e]	20,99 ± 0,33 [i]
11	17	26,60 ± 0,07 [bc]	2,90 ± 0,04 [j]	10,91 ± 0,12 [j]
12	22	27,00 ± 0,37 [bcg]	5,20 ± 0,06 [k]	19,26 ± 0,33 [k]
13	16	16,60 ± 0,06 [k]	1,90 ± 0,03 [l]	11,45 ± 0,20 [h]
14	18	19,60 ± 0,03 [i]	2,10 ± 0,03 [m]	10,73 ± 0,16 [j]
15	19	18,30 ± 0,03 [l]	2,81 ± 0,03 [a]	15,33 ± 0,14 [f]

Примечание: значения с одинаковым индексом в одном столбце статистически значимо не отличаются (p > 0,05).

Физико-химический состав исследованных натуральных сыров различается по влаге, по содержанию жира и по активной кислотности, при этом соответствует требованиям нормативно-технической документации на конкретный вид сыра. В зрелых полутвердых сырах, формуемых из пласта и насыпью, и в полутвердых сырах с пониженной жирностью отмечено снижение активной кислотности и массовой доли влаги относительно незрелых сыров.

В Таблице 4 представлены результаты исследований биохимических параметров сыров.

Данные, представленные в Таблице 4, показывают, что при созревании сыров идут процессы гидролиза белков и степень протеолиза возрастает. Установлено, что твердые сыры и полутвердые сыры с высокой температурой второго нагревания имеют наибольшую степень протеолиза, а незрелые полутвердые сыры — наименьшую. В сырах с чеддеризованной сырной массой наблюдаются высокие значения степени протеолиза, так как большая часть сыров имела значительные сроки созревания.

Структурно-механические показатели сыров различных видовых групп представлены в Таблице 5.

Структурно-механические (реологические) показатели сыров различных видовых групп различаются, что объективно отражает характер их консистенции.

Данные органолептических, физико-химических, реологических и биохимических показателей, представленные в Таблицах 2–5, свидетельствуют о том, что образцы подобранных для исследования сыров соответствуют требованиям нормативно-технических документов на конкретные виды сыра.

Основными потребительскими характеристиками, определяющими целесообразность использования того или иного вида натурального сыра для производства пиццы, являются функциональные свойства.

Результаты комплексной оценки функциональных свойств исследованных натуральных сыров в сравнении с максимально желаемой оценкой (эталон) отражены на Рисунке 1.

Таблица 5. **Средние структурно-механические показатели исследованных сыров**

Table 5. **Average structural- mechanical parameters of the studied cheeses**

№ образца	Количество исследованных сыров	G*, кПа	G', кПа	G", кПа	η', кПа*с	tg δ
1	16	198,11 ± 0,50 [a]	173,60 ± 0,77 [a]	95,30 ± 0,69 [a]	4,80 ± 0,06 [a]	0,55 ± 0,01 [a]
2	18	32,90 ± 1,34 [b]	25,00 ± 1,39 [b]	21,40 ± 1,32 [b]	1,10 ± 0,18 [b]	0,86 ± 0,01 [b]
3	18	41,10 ± 2,23 [c]	33,20 ± 1,69 [c]	24,20 ± 1,54 [c]	1,21 ± 0,20 [bc]	0,73 ± 0,05 [c]
4	17	46,00 ± 0,93 [d]	38,70 ± 1,58 [d]	24,90 ± 1,73 [cd]	1,30 ± 0,16 [cd]	0,64 ± 0,04 [d]
5	17	37,50 ± 2,07 [e]	31,50 ± 1,10 [e]	20,50 ± 1,23 [e]	1,00 ± 0,07 [be]	0,65 ± 0,05 [de]
6	16	44,50 ± 1,38 [f]	31,80 ± 1,24 [e]	31,20 ± 1,00 [f]	1,60 ± 0,06 [f]	0,98 ± 0,03 [f]
7	16	63,80 ± 1,95 [g]	47,80 ± 1,86 [f]	42,30 ± 1,48 [g]	2,10 ± 0,07 [g]	0,89 ± 0,04 [bg]
8	15	62,70 ± 1,44 [g]	50,00 ± 1,05 [g]	37,80 ± 1,93 [h]	1,90 ± 0,08 [h]	0,76 ± 0,04 [ch]
9	14	71,20 ± 1,42 [h]	53,90 ± 1,53 [h]	46,60 ± 1,40 [i]	2,40 ± 0,15 [i]	0,86 ± 0,03 [bg]
10	22	39,50 ± 2,96 [ce]	28,40 ± 1,50 [i]	19,70 ± 0,53 [e]	1,00 ± 0,12 [be]	0,69 ± 0,03 [cei]
11	17	47,90 ± 1,88 [d]	40,00 ± 1,74 [d]	26,30 ± 1,21 [d]	1,30 ± 0,11 [cdj]	0,66 ± 0,02 [deij]
12	22	24,40 ± 1,86 [i]	19,70 ± 1,21 [j]	14,40 ± 1,30 [j]	0,70 ± 0,06 [k]	0,73 ± 0,07 [chik]
13	16	42,60 ± 1,56 [cf]	35,30 ± 1,68 [k]	23,80 ± 1,59 [cd]	1,20 ± 0,08 [bcdj]	0,68 ± 0,06 [deijl]
14	18	109,40 ± 5,43 [j]	95,20 ± 1,87 [l]	53,80 ± 1,41 [k]	2,70 ± 0,21 [l]	0,57 ± 0,02 [a]
15	19	75,00 ± 2,14 [k]	61,40 ± 1,38 [m]	43,10 ± 1,42 [g]	2,20 ± 0,06 [g]	0,70 ± 0,03 [cijkl]

Примечание: значения с одинаковым индексом в одном столбце статистически значимо не отличаются (p > 0,05).

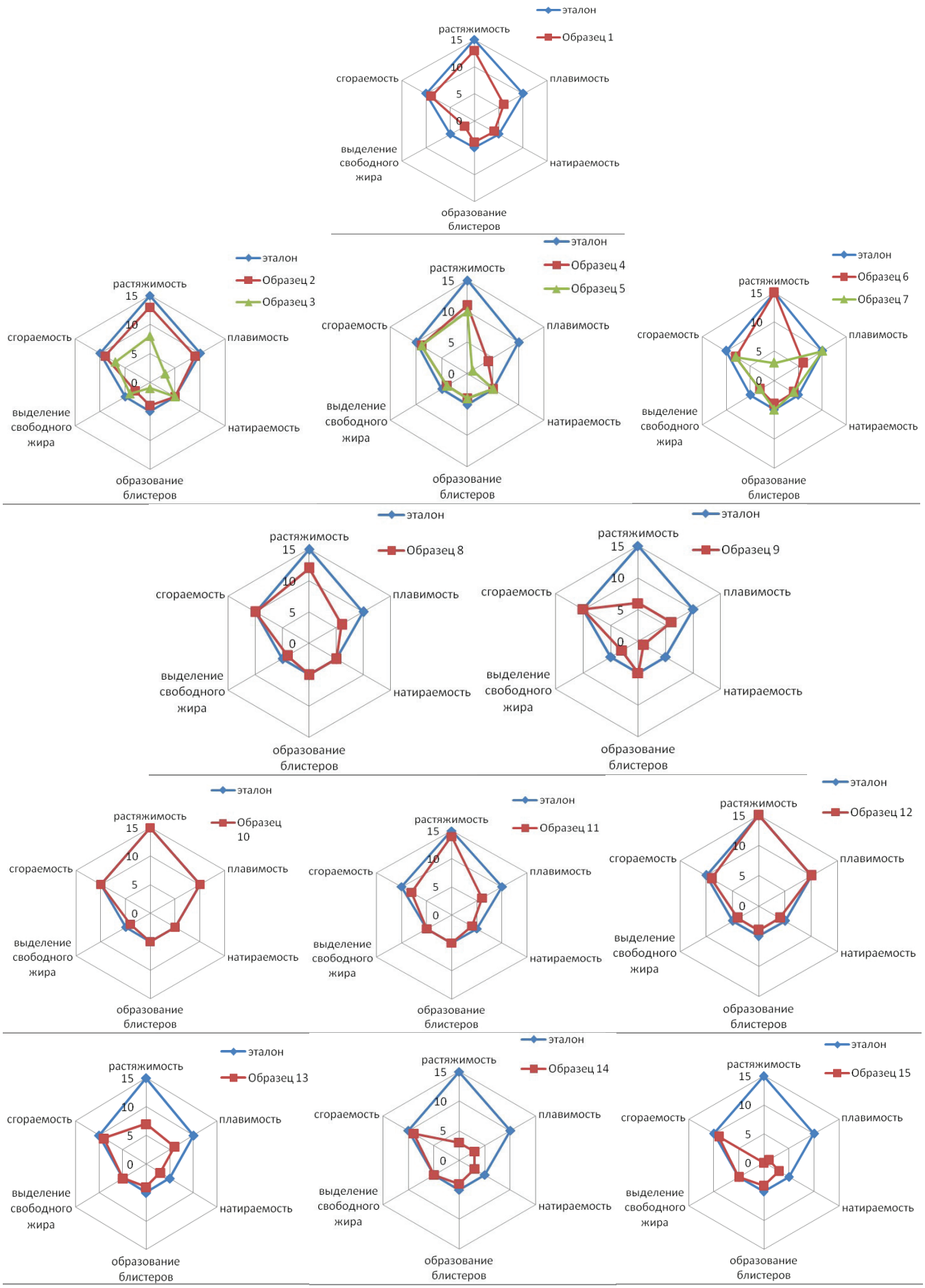


Рисунок 1. **Профилограммы функциональных свойств исследованных сыров различных групп**
Figure 1. **Profilograms of the functional properties of the studied cheeses from various groups**

Как видно из данных, представленных на Рисунке 1, твердые сыры после выпечки характеризуются чрезмерной плавимостью и сильным выделением жира, что приводит к снижению оценки по данным функциональным свойствам. Натираемость, образование блистеров, сгораемость и растяжимость в твердых сырах близки к искомым.

В большинстве образцов полутвердых сыров, подвергающихся созреванию, проявляется ухудшение растяжимости и плавимости. Полутвердые сыры с высокой температурой второго нагревания обладают недостаточной плавимостью и растяжимостью.

Сыры, созревающие при участии плесени *Penicillium roqueforti*, а также мягкие и рассольные сыры плохо натираются, практически не образуют сырных нитей после выпечки, при этом сыры с плесенью обладают чрезмерной плавимостью, а мягкие и рассольные сыры не плавятся. Это приводит к низкой комплексной оценке функциональных свойств и говорит о непригодности данных групп натуральных сыров для приготовления пиццы.

Установлено, что полножирные сыры с чеддеризацией сырной массы максимально соответствуют комплексу функциональных свойств. Однако уменьшение массовой доли жира в сырах с чеддеризацией, таких как полутвердый сыр Кальятта, приводит к некоторому снижению плавимости и усилению сгораемости.

Анализ результатов комплексной оценки исследованных натуральных сыров показывает, что увеличение массовой доли жира в сырах приводит к улучшению их плавимости, растяжимости, сгораемости и к активному выделению свободного жира. Снижение активной кислотности до 5,2 ед. pH и меньше вызывает появление темно-коричневого цвета у расплавленного сыра. Это, в свою очередь, способствует потере баллов за его сгораемость. В исследованиях Hala установлено ограничение для значения pH в диапазоне от 6,0 до 6,2 [30]. Массовая доля общего белка влияет на натираемость сыров: чем ниже содержание общего азота, тем хуже натираемость. В исследованных сырах с массовой долей общего белка более 27% наблюдается лучшая плавимость. С увеличением содержания общего белка наблюдается тенденция к улучшению растяжимости. Не выявлено влияния степени протеолиза, массовой доли влаги и реологических показателей исследованных натуральных сыров на комплекс функциональных свойств, однако ряд ученых сообщали о влиянии реологических характеристик и влаги сыров на их функциональные свойства [5,12,17,18,20]. Установлено, что прием чеддеризации, т. е. сбраживание лактозы в процессе выработки сыра, приводит к улучшению функциональных свойств.

Для выявления взаимосвязи между функциональными свойствами, физико-химическим составом и консистенцией исследованных сыров проведен корреляционный анализ. Результаты, отражающие среднюю и сильную тесноту связи между исследованными показателями и функциональными свойствами, представлены в Таблице 6.

В результате корреляционного анализа установлено, что на натираемость сыров закономерно наибольшее влияние оказывает их консистенция. Массовая доля жира в исследованных сырах положительно на их плавимость и растяжимость после выпечки, что согласуется с результатами зарубежных исследований функциональных свойств чеддеризованных сыров для пиццы, и отрицательно — на их сгораемость. Массовая доля общего белка в сырах благоприятно влияет на их натираемость и растяжимость. Взаимосвязь плавимости и массовой доли общего белка исследованных сыров предположительно носит нелинейный характер. Установлена тенденция улучшения сгораемости исследованных сыров при увеличении активной кислотности. Вероятно, что влияние исследованных характеристик сыров на функциональные свойства могут носить и нелинейный характер. Представленные коэффициенты корреляции значимы, так как расчетные критерии Стьюдента больше критического критерия.

Таблица 6. **Коэффициенты корреляции функциональных свойств, физико-химического состава и консистенции исследованных сыров**

Table 6. **Correlation coefficients of functional properties, physico-chemical composition and consistency of the studied cheeses**

Функциональные свойства	Показатели качества			
	Массовая доля жира в сухом веществе	Массовая доля общего белка	Активная кислотность	Консистенция
Натираемость	*	0,74	*	0,76
Плавимость	0,69	-0,50	*	*
Сгораемость	- 0,52	*	0,55	*
Растяжимость	0,64	0,62	*	*

Примечание: * — не выявлено статистически значимого влияния (расчетный критерий Стьюдента меньше табличного критерия Стьюдента).

В результате проведенных комплексных исследований органолептических, физико-химических, структурно-механических, биохимических показателей и функциональных свойств установлено, что для производства пиццы наиболее предпочтительно использовать сыры с чеддеризацией и термомеханической обработкой сырной массы, незрелые полутвердые сыры с низкой температурой второго нагревания, формуемые из пласта, и полутвердые сыры с высокой температурой второго нагревания. Рекомендация по применению сыров с чеддеризацией, в частности сыра Моцарелла как основного ингредиента для пиццы согласуется с рекомендациями Ma X., Balaban M. O., Zhang L., Emanuelsson-Patterson E. A. C., James B. [20].

4. Выводы

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что физико-химические, структурно-механические, биохимические показатели сыров влияют на комплексную оценку органолептических и функциональных свойств натуральных сыров, применяемых в качестве основного сырья для пиццы.

В результате проведенных исследований и корреляционного анализа установлено, что массовая доля жира в сухом веществе исследованных сыров влияет на их плавимость, а также на выделение свободного жира и на растяжимость после выпечки. Активная кислотность натуральных сыров оказывает воздействие на сгораемость. Массовая доля общего белка взаимосвязана с натираемостью, плавимостью и растяжимостью. Не выявлено влияния массовой доли влаги, реологических показателей, степени протеолиза исследованных сыров на те или иные функциональные свойства.

Для производства пиццы наиболее предпочтительно использовать сыры с чеддеризацией и термомеханической обработкой сырной массы, незрелые полутвердые сыры с низкой температурой второго нагревания, формуемые из пласта, полутвердые сыры с высокой температурой второго нагревания. Полутвердые сыры, созревающие при участии плесневых культур, а также мягкие и рассольные сыры не рекомендуются для приготовления пиццы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбалова, Т. И. (2020). Правильный сыр — главный секрет успеха пиццы. *Сыроделие и маслоделие*, 2, 10–14.
2. Давыдов, В., Давыдов, Е., Прасолов, Д. (2022). Пицца-бизнес. Часть 6. Сыры и топпинги. Litres.
3. Sviridenko, G. M., Kalabushkin, V. V., Shishkina, A. N., Uskova, E. E. (2020). Research on the possibility of extending the shelf life of cheese raw material and heat-treated cheese by their freezing for further use in HoReCa. *Food Systems*, 3(4), 39–44. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-4-39-44
4. Olson, D. W., Van Hekken, D. L., Tunick, M. H., Tomasula, P. M., Molina-Corral F. J., Gardea, A. A. (2011). Mexican Queso Chihuahua: Functional properties of aging cheese. *Journal of Dairy Science,* 94(9), 4292–4299. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3884
5. Jana, A. H., Tagalpallewar, G.P. (2017). Functional properties of Mozzarella cheese for its end use application. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 3766–3778. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2886-z
6. Banville, V., Morin, P., Pouliot, Y., Britten, M. (2014). Shreddability of pizza Mozzarella cheese predicted using physicochemical properties. *Journal of Dairy Science,* 97(7), 4097–4110. https://doi.org/10.3168/jds.2014-8040
7. Gore, E., Mardon, J., Lebecque, A. (2016). Draining and salting as responsible key steps in the generation of the acid forming potential of cheese: Application to a soft blue-veined cheese. *Journal of Dairy Science,* 99(9), 6927–6936. http://doi.org/10.3168/jds.2016-11094
8. Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., McSweeney, P. L. H. (2017). Cheese as an Ingredient. Chapter in a book: Fundamentals of Cheese Science. Boston: Springer, 2017. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9_18
9. Dharaiya, C. N., Jana, A. H., Aparnathi, K. D. (2019). Functionality of Mozzarella cheese analogues prepared using varying protein sources as influenced by refrigerated storage. *Journal of Food Science and Technology,* 56, 5243–5252. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03993-2
10. Salama, W. M. (2015). Influence of whey proteins on the characteristics of buffalo mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 10, 12–23. https://doi.org/10.3923/ijds.2015.12.23
11. Hans, M., Bhise, S., Minhas, K. S. (2020). Effect of storage on the physicochemical, color and microbiological properties of cheese prepared from stored precheese. *International Journal of Chemical Studies*, 8(3), 2326–2330. https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3ag.9558

12. Dave, R. I., Pragati, Sh., Mc Mahon, D. J. (2003). Melt and rheological properties of mozzarella cheese as affected by starter culture and coagulating enzymes. *Le Lait*, 83, 61–77. https://doi.org/10.1051/lait:2002050
13. Lamichhane, P., Kelly, Al. L., Sheehan, J. J. (2018). Symposium review: Structure-function relationships in cheese. *Journal of Dairy Science,* 101(3), 2692–2709. https://doi.org/10.3168/jds.2017–13386
14. Gunasekaran, S. (2016). Cheese Quality Evaluation. Chapter in a book: Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation. Elsevier: Academic Press, 2016. http://doi.org/10.1016/B978–0–12–802232–0.00020–7
15. Everard, C. D., O'Donnell, C. P., Fagan, C. C., Sheehan, E. M., Delahunty, C. M., O'Callaghan, D. J. (2005). Correlation between process cheese meltability determined by sensory analysis, computer vision method and Olson and Price test. *International Journal of Food Properties*, 8, 267–275. http://doi.org/10.1081/JFP-200060241
16. Свириденко, Г. М., Калабушкин, В. В., Шишкина, А. Н. (2020). Анализ потребительских свойств сыров для HoReCa. *Сыроделие и маслоделие*, 4, 6–9.
17. Ma, X., James, B., Balaban, M. O., Zhang, L., Emanuelsson-Patterson, E. A. C. (2013). Quantifying blistering and browning properties of Mozzarella cheese. Part I: Cheese made with different starter cultures. *Food Research International,* 54(1), 912–916. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.007
18. Ma, X., James, B., Balaban, M. O., Zhang, L., Emanuelsson-Patterson, E. A. C. (2013). Quantifying blistering and browning properties of Mozzarella cheese. Part II: Cheese with different salt and moisture contents. *Food Research International,* 54(1), 917–921. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.05.029
19. Johnson, M. E., Olson, N. F. (1985). Nonenzymatic browning of Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science,* 68(12), 3143–3147. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(85)81219–4
20. Ma, X., Balaban, M. O., Zhang, L., Emanuelsson-Patterson, E. A. C., James, B. (2014). Quantification of pizza baking properties of different cheeses, and their correlation with cheese functionality. *Journal of Food Science,* 79(8), E1528–E1534. https://doi.org/10.1111/1750–3841.12540
21. Yun, J. J., Barbano, D. M., Bond, E. F., Kalab, M. (1995). Image analysis method as quality control and research tool for characterizing pizza blisters. *Scanning*, 95(17), Article V143.
22. Rudan, M. A., Barbano, D. M. (1998). A model of Mozzarella cheese melting and browning during pizza baking. *Journal of Dairy Science*, 81(8), 2312–2319. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(98)75812–6
23. Свириденко, Г. М., Калабушкин, В. В., Алексеева, Е. В. (2019). К вопросу о функциональных свойствах плавленых сыров для HORECA. *Сыроделие и маслоделие*, 3, 33–36.
24. Ma, X., James, B., Zhang, L., Emanuelsson-Patterson, E. A. C. (2012). The stretchability of Mozzarella cheese evaluated by a temperature-controlled 3-prong hook test. *Journal of Dairy Science*, 95, 5561–5568. http://doi.org/10.3168/jds.2012–5486
25. Joshi, N. S., Muthukumarappan, K., Dave, R. I. (2004). Effects of reduced-calcium, test temperature and storage on stretchability of part-skim Mozzarella cheese. *Australian Journal of Dairy Technology,* 59(1), 60–65.
26. Свириденко, Г. М., Калабушкин, В. В., Шишкина, А. Н. (2022). Шкала оценки сыров для пиццы. *Сыроделие и маслоделие*, 4, 28–32. https://doi.org/10.31515/2073–4018–2022–4–28–32
27. Muthukumarappan, K., Wang, Y. C., Gunasekaran, S. (1999). Short communication: modified schreiber test for evaluation of mozzarella cheese meltability. *Journal of Dairy Science*, 82(6), 1068–1071. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(99)75328–2
28. Fife, R. L., McMahon, D. J., Oberg, C. J. (2002). Test for measuring the stretchability of melted cheese. *Journal of Dairy Science,* 85(12), 3539–3545. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(02)74444–5
29. Mizuno, R. Lucey, J. A. (2005). Effects of two types of emulsifying salts on the functionality of nonfat Pasta Filata cheese. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3411–3425. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(05)73025–3
30. Ali, H. M., Ahmed, J. A. O., El Zubeir, I. E. M. (2023). The effect of pH on the rheological and physical properties of analogue pizza cheese. *Journal Food Science Technology,* 60(2), 692–700. https://doi.org/10.1007/s13197–022–05654–3

REFERENCES

1. Rybalova, T. I. (2020). The right cheese is the key to pizza success. *Cheese Making and Butter Making*, 2, 10–14. (In Russian)
2. Davydov, V., Davydov, E., Prasolov, D. (2022). Pizza business. Part 6. Cheeses and toppings. Litres. (In Russian)
3. Sviridenko, G. M., Kalabushkin, V. V., Shishkina, A. N., Uskova, E. E. (2020). Research on the possibility of extending the shelf life of cheese raw material and heat-treated cheese by their freezing for further use in HoReCa. *Food Systems*, 3(4), 39–44. https://doi.org/10.21323/2618–9771–2020–3–4–39–44
4. Olson, D. W., Van Hekken, D. L., Tunick, M. H., Tomasula, P. M., Molina-Corral F. J., Gardea, A. A. (2011). Mexican Queso Chihuahua: Functional properties of aging cheese. *Journal of Dairy Science*, 94(9), 4292–4299. https://doi.org/10.3168/jds.2010–3884
5. Jana, A. H, Tagalpallewar, G. P. (2017). Functional properties of Mozzarella cheese for its end use application. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 3766–3778. https://doi.org/10.1007/s13197–017–2886-z
6. Banville, V., Morin, P., Pouliot, Y., Britten, M. (2014). Shreddability of pizza Mozzarella cheese predicted using physicochemical properties. *Journal of Dairy Science,* 97(7), 4097–4110. https://doi.org/10.3168/jds.2014–8040
7. Gore, E., Mardon, J., Lebecque, A. (2016). Draining and salting as responsible key steps in the generation of the acid forming potential of cheese: Application to a soft blue-veined cheese. *Journal of Dairy Science,* 99(9), 6927–6936. http://doi.org/10.3168/jds.2016–11094
8. Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., McSweeney, P. L. H. (2017). Cheese as an Ingredient. Chapter in a book: Fundamentals of Cheese Science. Boston: Springer, 2017. https://doi.org/10.1007/978–1–4899–7681–9_18
9. Dharaiya, C. N., Jana, A. H., Aparnathi, K. D. (2019). Functionality of Mozzarella cheese analogues prepared using varying protein sources as influenced by refrigerated storage. *Journal of Food Science and Technology,* 56, 5243–5252. https://doi.org/10.1007/s13197–019–03993–2
10. Salama, W. M. (2015). Influence of whey proteins on the characteristics of buffalo mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 10, 12–23. https://doi.org/10.3923/ijds.2015.12.23
11. Hans, M., Bhise, S., Minhas, K. S. (2020). Effect of storage on the physicochemical, color and microbiological properties of cheese prepared from stored precheese. *International Journal of Chemical Studies*, 8(3), 2326–2330. https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3ag.9558
12. Dave, R. I., Pragati, Sh., Mc Mahon, D. J. (2003). Melt and rheological properties of mozzarella cheese as affected by starter culture and coagulating enzymes. *Le Lait*, 83, 61–77. https://doi.org/10.1051/lait:2002050
13. Lamichhane, P., Kelly, Al. L., Sheehan, J. J. (2018). Symposium review: Structure-function relationships in cheese. *Journal of Dairy Science,* 101(3), 2692–2709. https://doi.org/10.3168/jds.2017–13386
14. Gunasekaran, S. (2016). Cheese Quality Evaluation. Chapter in a book: Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation. Elsevier: Academic Press, 2016. http://doi.org/10.1016/B978–0–12–802232–0.00020–7
15. Everard, C. D., O'Donnell, C. P., Fagan, C. C., Sheehan, E. M., Delahunty, C. M., O'Callaghan, D. J. (2005). Correlation between process cheese meltability determined by sensory analysis, computer vision method and Olson and Price test. *International Journal of Food Properties*, 8, 267–275. http://dx.doi.org/10.1081/JFP-200060241
16. Sviridenko, G. M., Kalabushkin, V. V., Shishkina, A. N. (2020). Analysis of consumer properties of cheeses for HoReCa. *Cheese Making and Butter Making*, 4, 6–9. (In Russian)
17. Ma, X., James, B., Balaban, M. O., Zhang, L., Emanuelsson-Patterson, E. A. C. (2013). Quantifying blistering and browning properties of Mozzarella cheese. Part I: Cheese made with different starter cultures. *Food Research International,* 54(1), 912–916. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.007
18. Ma, X., James, B., Balaban, M. O., Zhang, L., Emanuelsson-Patterson, E. A. C. (2013). Quantifying blistering and browning properties of Mozzarella cheese. Part II: Cheese with different salt and moisture contents. *Food Research International,* 54(1), 917–921. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.05.029
19. Johnson, M. E., Olson, N. F. (1985). Nonenzymatic browning of Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science,* 68(12), 3143–3147. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(85)81219–4
20. Ma, X., Balaban, M. O., Zhang, L., Emanuelsson-Patterson, E. A. C., James, B. (2014). Quantification of pizza baking properties of different cheeses, and their correlation with cheese functionality. *Journal of Food Science,* 79(8), E1528–E1534. https://doi.org/10.1111/1750–3841.12540
21. Yun, J. J., Barbano, D. M., Bond, E. F., Kalab, M. (1995). Image analysis method as quality control and research tool for characterizing pizza blisters. *Scanning*, 95(17), Article V143.
22. Rudan, M. A., Barbano, D. M. (1998). A model of Mozzarella cheese melting and browning during pizza baking. *Journal of Dairy Science*, 81(8), 2312–2319. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(98)75812–6
23. Sviridenko, G. M., Kalabushkin, V. V., Alekseeva, E. V. (2019). To the item about functional properties of processed cheese for the HORECA. *Cheese Making and Butter Making*, 3, 33–36. (In Russian)
24. Ma, X., James, B., Zhang, L., Emanuelsson-Patterson, E. A. C. (2012). The stretchability of Mozzarella cheese evaluated by a temperature-controlled 3-prong hook test. *Journal of Dairy Science*, 95, 5561–5568. http://doi.org/10.3168/jds.2012–5486
25. Joshi, N. S., Muthukumarappan, K., Dave, R. I. (2004). Effects of reduced-calcium, test temperature and storage on stretchability of part-skim Mozzarella cheese. *Australian Journal of Dairy Technology,* 59(1), 60–65.
26. Sviridenko, G. M., Kalabushkin, V. V., Shishkina, A. N. (2022). Rating scale of pizza cheeses. *Cheese Making and Butter Making*, 4, 28–32. https://doi.org/10.31515/2073–4018–2022–4–28–32. (In Russian)
27. Muthukumarappan, K., Wang, Y. C., Gunasekaran, S. (1999). Short communication: modified schreiber test for evaluation of mozzarella cheese meltability. *Journal of Dairy Science*, 82(6), 1068–1071. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(99)75328–2
28. Fife, R. L., McMahon, D. J., Oberg, C. J. (2002). Test for measuring the stretchability of melted cheese. *Journal of Dairy Science,* 85(12), 3539–3545. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(02)74444–5
29. Mizuno, R. Lucey, J. A. (2005). Effects of two types of emulsifying salts on the functionality of nonfat Pasta Filata cheese. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3411–3425. https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(05)73025–3
30. Ali, H. M., Ahmed, J. A. O., El Zubeir, I. E. M. (2023). The effect of pH on the rheological and physical properties of analogue pizza cheese. *Journal Food Science Technology,* 60(2), 692–700. https://doi.org/10.1007/s13197–022–05654–3

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Свириденко Галина Михайловна — доктор технических наук, главный научный сотрудник, руководитель отдела микробиологии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7–903–823–56–88 E-mail: g.sviridenko@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–9586–3786	**Galina M. Sviridenko**, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Head of Research Department of Microbiology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheese-making 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7–903–823–56–88 E-mail: g.sviridenko@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–9586–3786
Шишкина Анастасия Николаевна — аспирант, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7–901–040–48–37 E-mail: a.shishkina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–3935–766X * автор для контактов	**Anastasiya N. Shishkina**, Graduate Student, Junior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7–901–040–48–37 E-mail: a.shishkina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–3935–766X * corresponding author
Калабушкин Василий Валерьевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории плавленых сыров, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7–920–657–68–23 E-mail: v.kalabushkin@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–0507–0572	**Vasiliy V. Kalabushkin**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Processed Cheese Lab, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheese-making 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7–920–657–68–23 E mail: v.kalabushkin@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–0507–0572

Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.

Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-424-430

Поступила 23.07.2023
Поступила после рецензирования 23.09.2023
Принята в печать 29.09.2023
© Топникова Е. В., Афанасьева А. А., Гурский И. А., Грызунов А. А., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Научная статья
Open access

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАМОРАЖИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЖИРОВОЙ ЭМУЛЬСИИ В СЛИВКАХ

Топникова Е. В.[1], Афанасьева А. А.[1],* Гурский И. А.[2], Грызунов А. А.[2]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, Углич, Россия
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
замороженные сливки, дестабилизация жировой фазы, микроструктура, кристаллы льда

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследования замороженных сливок, целью которого была оценка целесообразности применения различных режимов замораживания и хранения для получения продукта со стабильной жировой фазой. Объектами исследования являлись сливки различной жирности — 30%, 40% и 50%. Замораживание проводили при трех температурных режимах (минус 50 °С, минус 25 °С и минус 18 °С) с последующим хранением в течение 4 месяцев в холодильных камерах с поддержанием температур минус 18 °С, 25 °С и 50 °С. До и после низкотемпературной обработки оценивали состояние жировой фазы сливок и размер кристаллов льда микроскопическим методом. Дестабилизацию жировой дисперсии определяли по содержанию дестабилизированного жира. Было подтверждено, что с увеличением массовой доли жира в сливках степень дестабилизации возрастает. Количество дестабилизированного жира в сливках 30, 40 и 50%-ной жирности до замораживания составляло 14,3%, 20,0% и 32,0% соответственно. По результатам исследований было выявлено, что при снижении температуры замораживания с минус 18 °С до минус 50 °С не происходит заметного сокращения количества дестабилизированного жира. Степень дестабилизации уменьшалась при перемещении сливок с более низких в более щадящие температурные условия. При температуре хранения минус 18 °С сливок, предварительно замороженных при минус 50 °С и минус 25 °С, количество дестабилизированного жира в сливках было меньше соответственно на 8,0–14,0% и 20,0–25,0% в сравнении с образцами, замороженными и хранимыми при одной и той же температуре. При проведении микроструктурных исследований было выявлено, что замораживание при более низкой температуре с изменением температурного режима хранения позволяет получить кристаллы льда с более гладкой поверхностью, которые вызывают меньшее повреждение оболочек жировых шариков.

Received 23.07.2023
Accepted in revised 23.09.2023
Accepted for publication 29.09.2023
© Topnikova E. V., Afanasyeva A. A., Gursky I. A., Gryzunov A. A., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Original scientific article
Open access

THE EFFECT OF FREEZING AND STORAGE TEMPERATURE ON THE STABILITY OF THE FAT EMULSION IN CREAM

Topnikova E. V.[1], Afanasyeva A. A.[1],* Gursky I. A.[2], Gryzunov A. A.[2]

[1] All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking, Uglich, Russia
[2] All-Russian Scientific Research Institute of the Refrigeration Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:
frozen cream, fat phase destabilization, microstructure, ice crystals

ABSTRACT

The article presents the results of a study of frozen cream, the purpose of which was to assess the feasibility of using various freezing and storage modes to obtain a product with a stable fat phase. The objects of the study were cream samples of various fat contents (30%, 40% and 50%). Freezing was carried out at three temperature conditions (–50 °C, —25 °C and –18 °C) followed by storage for 4 months in refrigerators maintaining temperatures of –18 °C, —25 °C and –50 °C. Before and after low-temperature treatment, the state of the fat phase of the cream and the size of ice crystals were assessed using a microscopic method. Destabilization of fat dispersion was determined by the content of destabilized fat. It has been confirmed that with increasing mass fraction of fat in cream, the degree of destabilization increases. The amount of destabilized fat in cream samples with 30, 40 and 50% fat content before freezing was 14.3%, 20.0% and 32.0%, respectively. According to the research results, it has been revealed that when the freezing temperature decreases from –18 °C to –50 °C, there is no noticeable reduction in the amount of destabilized fat. The degree of destabilization decreased when cream was moved from lower to more gentle temperature conditions. At a storage temperature of –18 °C for cream previously frozen at –50 °C and –25 °C, the amount of destabilized fat in the cream was lower by 8.0–14.0% and 20.0–25.0%, respectively, in comparison with samples frozen and stored at the same temperature. When conducting microstructural studies, it has been revealed that freezing at a lower temperature with a change in storage temperature allows obtaining ice crystals with a smoother surface, which cause less damage to the membranes of fat globules.

1. Введение

На современном этапе переработки молочного сырья одним из насущных вопросов является его рациональное использование, гарантированное и устойчивое снабжение населения страны безопасными и качественными продуктами независимо от сезонности[1]. Одним из путей решения поставленного вопроса является разработка и широкое применение технологий замораживания молочных продуктов.

Замораживание как метод консервирования считается одним из лучших способов сохранения качества пищевых продуктов. Производители подвергают низкотемпературной обработке большой ассортимент скоропортящихся продуктов питания и сырья для их изготовления, чтобы создать долгосрочные запасы сырья и преобразовать систему поставок пищевых продуктов на рынок в течение года, преодолевая сезонность производства и потребления отдельных видов продуктов.

[1] Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 г. № 1364-р.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Топникова, Е. В., Афанасьева, А. А., Гурский, И. А., Грызунов, А. А.** (2023). Влияние температуры замораживания и хранения на стабильность жировой эмульсии в сливках. *Пищевые системы,* 6(3), 424-430. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-424-430

FOR CITATION: **Topnikova, E. V., Afanasyeva, A. A., Gursky, I. A., Gryzunov, A. A.** (2023). The effect of freezing and storage temperature on the stability of the fat emulsion in cream. *Food Systems,* 6(3), 424-430. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-424-430

Для осуществления данных целей применяются различные технологии замораживания. Известные технологии замораживания пищевых продуктов включают системы воздушной заморозки, контактную/пластинчатую, погружную и распылительную заморозку [1,2]. Также используются способы замораживания на основе магнитного и электрического возмущений, микроволн, высокого давления и др. [3,4]. Независимо от используемого метода, замораживание позволяет продлить срок годности продуктов. При этом важно учитывать особенности замораживаемого продукта (тип, размер и форма, начальная температура и др.), так как это может оказать влияние на конечное качество продукта [5,6]. Исследователями были отмечены заметные изменения физико-химических и биохимических показателей в пищевых продуктах [7,8].

В первую очередь это связано с морфологией кристаллов льда, которая влияет на микроструктуру замороженных продуктов. Изменения обусловлены процессами кристаллизации воды, перераспределением влаги между структурными образованиями компонентов, повышением концентрации растворенных в жидкой фазе веществ [9].

В молочных продуктах замораживание происходит неравномерно: сначала замерзает слой чистой воды на границе раздела фаз (на стенках, на поверхности и на дне емкости), а в оставшейся части концентрируются компоненты молока [10,11]. Таким образом, замораживание представляет собой процесс расслоения. Однако в сливках вследствие меньшего содержания влаги это не так ярко выражено, как в молоке.

Исследователями было обнаружено, что сливки, содержащие 25–30% или более молочного жира, замерзают однородно по отношению к содержанию жира. В сливках с низкой жирностью жир имеет тенденцию подниматься к поверхности и концентрироваться в верхней части, но это свойство становилось менее выраженным по мере увеличения содержания жира и снижения температуры. Если сливки с низким содержанием жира замерзают без перемешивания, происходит аналогичный подъем молочного жира на поверхность до тех пор, пока количество жира в сливках не достигнет 25%. Когда такая диффузия молочного жира предотвращается, то сливки замерзают однородно [12].

Однако основные изменения в сливках наблюдаются при оттаивании. При нагревании жир переходит в жидкую форму и выделяется на поверхность размороженных сливок. Физические изменения, наблюдаемые при оттаивании, указывают на дестабилизацию жировой эмульсии. Это вызвано тем, что давление льда вызывает деформацию и повреждение оболочек жировых шариков. Последние после оттаивания сливок образуют конгломераты, в результате чего и появляется «свободный» жир [13].

Существует мнение, что одним из методов снижения степени дестабилизации является правильный подбор скоростей замораживания. Как зарубежными, так и отечественными учеными были проведены исследования в данной области [14,15,16].

Для получения более качественного продукта исследователи рекомендуют применять высокие скорости замораживания. Данный прием способствует более равномерному распределению мелких кристаллов льда, тогда как медленное замораживание обычно приводит к образованию крупных игольчатых кристаллов льда [17]. При быстром замораживании вся свободная влага переходит в лед, невымороженной остается 3–4% влаги. Оставшаяся связанная влага не обладает свойством растворять соли, поэтому денатурационных изменений белков не происходит. Не нарушается также стабильность оболочек жировых шариков и, как следствие, предотвращается дестабилизация жировой эмульсии.

При медленном замораживании (температура минус 10 °С) образуются крупные игольчатые кристаллы льда, которые своими острыми гранями повреждают клеточную оболочку жировых шариков. Быстрое замораживание (температура ниже минус 22 °С) предотвращает значительное перераспределение влаги и растворенных веществ и способствует образованию мелких, равномерно распределенных кристаллов льда. В соответствии с изменением скорости замораживания по мере перемещения границ фазового перехода от периферии к центру продукта меняются размер и характер распределения кристаллов льда. Наиболее мелкие кристаллы образуются в поверхностных слоях продукта [18,19].

Максимальное кристаллообразование происходит при температурах от минус 2 °С до минус 8 °С, поэтому, чтобы предотвратить образование крупных кристаллов льда при замораживании, обеспечивают быстрое понижение температур в этом интервале. Кроме того, из-за максимального кристаллообразования в этом интервале температур повышается содержание в невымороженной влаге растворенных веществ, увеличивается скорость некоторых реакций, в частности из-за нарушения структурных клеточных образований высвобождаются ферменты и окисляются липиды.

Дальнейшее понижение температуры не сопровождается значительным возрастанием концентрации веществ в жидкой фазе, происходит снижение скорости физико-химических и биохимических реакций.

Существует также мнение, что если замораживание не является чрезмерно медленным (дни или недели), то большинство продуктов сравнительно нечувствительны к скорости замораживания [20]. Кроме того, первоначальное преимущество, полученное при быстром замораживании, теряется при хранении из-за перекристаллизации [21]. Хотя быстрая заморозка имеет немало достоинств, некоторые продукты трескаются или даже разрушаются, если их подвергать воздействию очень низкой температуры в течение длительного периода времени. Symons [20] отметил, что скорость замораживания не так важна для качества продукта, как поддержание достаточно низких температур (минус 18 °С или ниже) во время хранения.

Цель данной работы заключается в изучении влияния различных температур замораживания и низкотемпературного хранения на структурные характеристики сливок с разной массовой долей жира.

2. Объекты и методы

2.1. Объекты

Исследования проводились на базе лабораторий отдела маслоделия Всероссийского научно-исследовательского института маслоделия и сыроделия (ВНИИМС) — филиала Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН; лабораторий мороженого и замороженных и обезвоженных пищевых продуктов Всероссийского научно-исследовательского холодильной промышленности (ВНИХИ) — филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.

Объектами исследований являлись пастеризованные, замороженные и дефростированные сливки с массовой долей жира 30%, 40%, 50%.

Для проведения исследований была взята партия сливок с массовой долей жира 57% и обезжиренное молоко от производителя ООО «Угличский сыродельно-молочный завод» (Ярославская область, Углич). Сливки нормализовали обезжиренным молоком до массовой доли жира в них 30%, 40%, 50%. Каждую партию сливок пастеризовали при (85 ± 2) °С с выдержкой 15 минут, охлаждали до температуры (25 ± 2) °С и разливали в упаковки Pure-Pak (объемом 1 литр).

После фасования образцы доохлаждали до температуры (10 ± 5) °С, замораживали и закладывали на хранение в течение 4 месяцев на базе лаборатории технологии замороженных и обезвоженных пищевых продуктов ВНИХИ по следующим схемам:

- схема 1 — замораживание при минус 50 °С, хранение при минус 50 °С;
- схема 2 — замораживание при минус 50 °С, хранение при минус 18 °С;
- схема 3 — замораживание при минус 25 °С, хранение при минус 25 °С;
- схема 4 — замораживание при минус 25 °С, хранение при минус 18 °С;
- схема 5 — замораживание при минус 18 °С, хранение при минус 18 °С.

После хранения сливки дефростировали при комнатной температуре (20 ± 2)°С в течение 22 часов.

2.2. Методы

2.2.1. Физико-химические показатели

В сливках определяли массовую долю жира методом центрифугирования по ГОСТ 5867–90[2]. Определение кислотности сливок выполняли согласно ГОСТ Р 54669–2011[3] методом титрования с применением индикатора фенолфталеина, кислотность жировой фазы и молочной плазмы по ГОСТ Р 55361–2012[4].

Количество эмульгированного жира определяли по описанной далее методике: в химический стакан с навеской сливок 10 г приливали 90 мл дистиллированной воды ($t_{воды}$ = 65 °С); смесь тщательно перемешивали и помещали на водяную баню ($t_{воды}$ = 65 °С) на

[2] ГОСТ 5867–90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира». — М.: Стандартинформ, 2009. — 13 с.

[3] ГОСТ Р 54669–2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности». — М.: Стандартинформ, 2019. — 10 с.

[4] ГОСТ Р 55361–2012 «Жир молочный, масло и паста масляная из коровьего молока. Правила приемки, отбор проб и методы контроля». — М.: Стандартинформ, 2014. — 45 с.

5 минут; далее содержимое стакана перемещали в делительную воронку и оставляли в покое на 5 минут. Затем сливали 80 мл жидкости в мерную колбу и охлаждали до 20 °С, в которой определяли показатель массовой доли жира согласно ГОСТ 5867–90[2] с помощью молочного жиромера. Количество эмульгированного жира вычисляли по формуле:

$$Д = \frac{П \times 10}{100 - Ж} \times 100\% \quad (1),$$

где $П$ — показатель массовой доли жира в отделенной жидкости, %;
$Ж$ — массовая доля жира в исследуемых сливках.

Для определения количества дестабилизированного жира в стеклянный химический стакан помещали навеску сливок массой 3 г и по стенке осторожно добавляли 60 мл дистиллированной воды ($t_{воды}$ = 65 °С). Подготовленный образец помещали в холодную воду t = (10 ± 2) °С и выдерживали 2 часа. Затем фильтровали через стеклянный фильтр № 1 и определяли массовую долю жира в фильтрате согласно ГОСТ 5867–90[2] с помощью молочного жиромера. Показатель дестабилизированного жира вычисляли по формуле:

$$Д = \frac{Ж_{прод} - 20 \times Ж_{фильт}}{Ж_{прод}} \times 100\% \quad (2),$$

где $Ж_{прод}$ — массовая доля жира в исследуемом продукте, %;
$Ж_{фильт}$ — массовая доля жира в фильтрате, %.

2.2.2. Микроскопические исследования

2.2.2.1. Определение состояния и дисперсности жировой фазы

Метод основан на визуальной оценке микрофотографий сливок, на определении диаметров жировых шариков, а также на распределении их по размерам.

Исследования сливок проводили с помощью микроскопа МБИ-6 («ЛОМО», Россия) при увеличении в 280 раз в проходящем свете с применением оранжевого светофильтра по принципу «раздавленная капля». На поверхность сухого чистого предметного стекла наносят петлей небольшое количество сливок, накрывая покровным стеклом и раздавливая исследуемый продукт гирькой весом 10 г. Далее объект фиксировали в течение 1 минуты — на покровное стекло помещали гирьку весом 20 г, выдержанную не менее 3 минут на поверхности льда. Подготовленный препарат переносили на предметный столик микроскопа. Фотографирование осуществляли с помощью погружной электронной камеры (Samsung, Вьетнам) (параметры камеры 7,9 МП (18,5:9), разрешение 4032 x 1960) в 3-кратной повторности со съемкой не менее 5 кадров.

Полученные микрофотографии обрабатывали с помощью программы ImageJ, определяли площадь жировых шариков минимум на трех фотографиях и рассчитывали их диаметр.

2.2.2.2. Определение состояния и дисперсности кристаллов льда

Метод изложен в «Методике определения кристаллов льда в мороженом и замороженных взбитых продуктах», усовершенствованной и утвержденной во ВНИХИ.

Данный способ включает подготовку пробы и микрофотографирование объектов исследования встроенной фотокамерой светового микроскопа при температуре не выше минус 18 °С с последующим определением размеров кристаллов льда и математическим расчетом распределения кристаллов льда по размерам. Подготовка пробы предполагает смешивание небольшого количества образца со спиртом при температуре не выше минус 18 °С. Исследования проводили с использованием светового микроскопа Olympus CX 41 (Olympus Corp., Япония) с термостоликом PE120 (Linkam, Англия) при увеличении в 200 раз.

Образец исследовался в 3-кратной повторности со съемкой не менее 5 кадров. Полученные микрофотографии обрабатывали с помощью программы ImageScopeM путем определения среднего размера кристаллов (по большему расстоянию между двумя вершинами) минимум на трех фотографиях. Средний размер выявляли математическим методом.

Пример определения размеров кристаллов льда с помощью программного обеспечения ImageScopeM представлен на Рисунке 1.

2.3. Математическая обработка данных

Исследования проводили в 3–5-кратной повторности. Обработку полученных данных и построение графиков осуществляли с использованием компьютерной программы Microsoft Excel 2016. Для оценки статистически значимых различий между образцами применяли однофакторный дисперсионный анализ ANOVA. Для проведения попарного сравнения выборок используются апостериорные критерии Тьюки. Статистически значимый результат оценивали при $p \leqslant 0{,}05$.

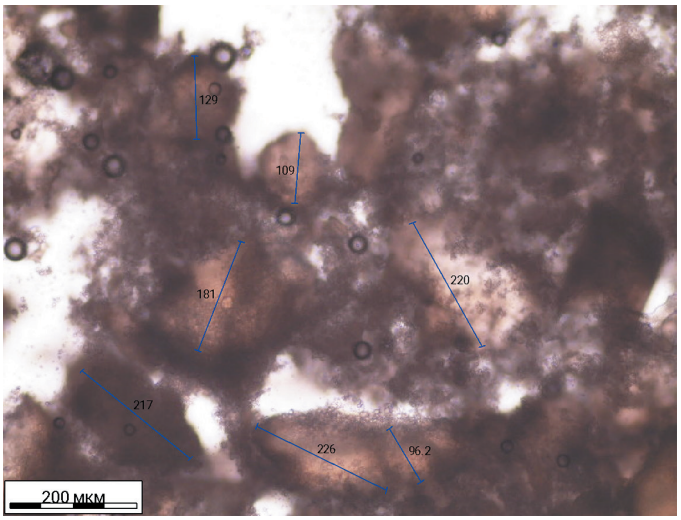


Рисунок 1. **Пример подсчета размеров кристаллов льда**
Figure 1. **Example of counting ice crystals**

3. Результаты и обсуждение

Результаты исследований физико-химических показателей нормализованных пастеризованных сливок представлены в Таблице 1.

Таблица 1. **Физико-химические показатели пастеризованных сливок**
Table 1. **Physico-chemical parameters of pasteurized cream**

Массовая доля жира в сливках, %	Титруемая кислотность сливок, °Т	Кислотность жировой фазы, °К	Титруемая кислотность молочной плазмы, °Т	* Количество эмульгированного жира, %	* Количество дестабилизированного жира, %
30	12,5 ± 1,9	0,6 ± 0,1	13,0 ± 0,5	89,3 ± 1,2	13,9 ± 2,3
40	10,5 ± 1,9	0,6 ± 0,1	12,5 ± 0,5	77,5 ± 1,2	20,0 ± 2,3
50	10,5 ± 1,9	0,6 ± 0,1	13,5 ± 0,5	60,0 ± 1,2	32,0 ± 2,3

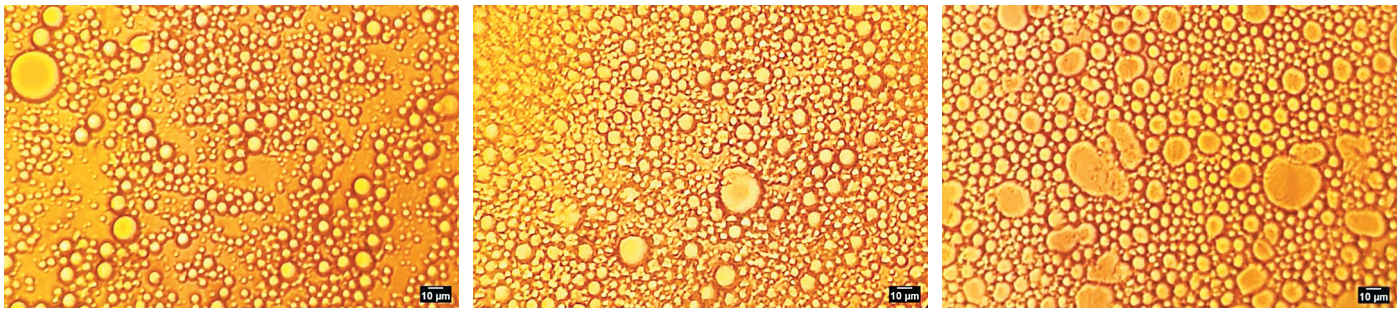
Примечание: данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение».
Данные в столбцах существенно не различаются ($p > 0{,}05$), кроме столбцов со значком «*», где ($p < 0{,}05$).

Как видно из Таблицы 1, несколько большая кислотность (на 2,0 °Т) отмечена в сливках с 30%-ной жирностью. Но статистически значимой разницы в показателях кислотности сливок выявлено не было.

Устойчивость жировой фазы оценивали по показателю дестабилизированного жира. По полученным данным можно сделать вывод, что с увеличением массовой доли жира в сливках наблюдается тенденция к повышению данного показателя. Количество деэмульгированного жира было больше в сливках 50%-ной жирности и составляло 32,0%.

Для оценки состояния жировой фазы были проведены микроструктурные исследования образцов (Рисунок 2). Данные касательно размера и характера распределения микроструктурных элементов в образцах сливок представлены на Рисунке 3.

Размеры жировых шариков в сливках колеблются от 0,2 до 35,3 мкм (Рисунок 3). Средний диаметр жировых шариков увеличивается по мере повышения жирности с 3,56 до 4,98 мкм. В сливках 30%-ной жирности преобладали жировые шарики размером от 2 до 4 мкм, их количество составило 36,67% от общего содержания частиц. Агломератов жира практически не наблюдалось. В сливках 40%-ной жирности преобладали жировые шарики размерного ряда от 2,0 до 4,0 мкм (50,41% от общего количества), но уже появились единичные агломераты жира размером до 27,0 мкм. В сливках 50%-ной жирности количественно преобладали жировые частицы размером от 4,0 до 6,0 мкм (37,67% от общего количества), но в силу более плотной упаковки жировых шариков наблюдалось более частое образование крупных агломератов жира размером от 14,0 до 35,2 мкм, которые могут быть более подвержены дестабилизации при последующем замораживании сливок.



a b c

Рисунок 2. **Микроструктура пастеризованных сливок с массовой долей жира 30% (a), 40% (b) и 50% (c)**
Figure 2. **Microstructure of pasteurized cream with a fat mass fraction of 30% (a), 40% (b) and 50% (c)**

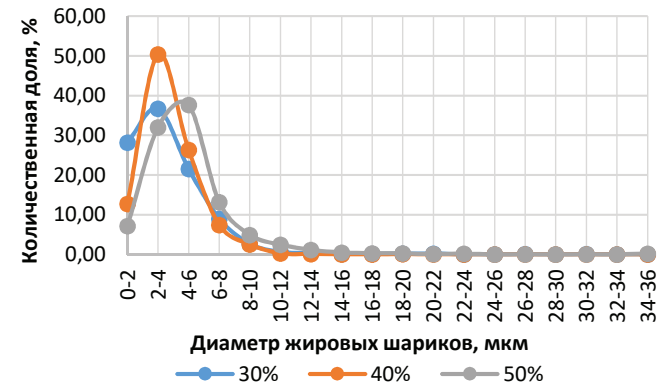


Рисунок 3. **Распределение жировых шариков в анализируемых образцах сливок**
Figure 3. **Distribution of fat globules in the analyzed cream samples**

После замораживания и низкотемпературного хранения образцов в течение 4 месяцев осуществлялся контроль физико-химических показателей. При исследовании не было обнаружено значимых различий в показателях кислотности сливок после замораживания по сравнению с результатами до обработки.

При оценке влияния замораживания важным вопросом является изучение стабильности жировой эмульсии. На Рисунке 4 приведены данные, характеризующие состояние жировой эмульсии в сливках после замораживания и хранения при различных температурных режимах.

Как следует из приведенных на Рисунке 4 данных, при замораживании сливок в исследуемом диапазоне жирности происходит значительная дестабилизация жира. Было подтверждено, что с увеличением содержания жира в сливках степень дестабилизации возрастает. В сливках жирностью 30% наибольшая дестабилизация была отмечена в образцах, замороженных при минус 25 °C — 85,7% и при минус 18 °C — 71,4%. В сливках с массовой долей жира 40% и 50% большое выделение дестабилизированного жира наблюдалось при замораживании в температурных режимах минус 25 °C и минус 50 °C. Полученные данные не согласуются с мнением о том, что применение более низких температур замораживания позволяет получить продукт с более устойчивой структурой.

Было обнаружено, что замораживание в условиях более низких температур с дальнейшим перемещением для хранения при минус 18 °C оказывает меньшее разрушающее воздействие на оболочки жировых шариков. При изменении температуры хранения с минус 50 °C до минус 18 °C количество дестабилизированного жира во всех образцах сливок уменьшилось на 8,0–14,0% соответственно. При перемещении из камеры минус 25 °C в камеру с температурой 18 °C данный показатель уменьшился на 20,0–25,0%.

По полученным результатам была сформирована гипотеза о том, что при перемещении сливок из одних температурных условий в другие происходят меньшие структурные изменения на микроскопическом уровне. Для подтверждения данной гипотезы необходимо было исследовать состояние кристаллов льда и жировой фазы в сливках.

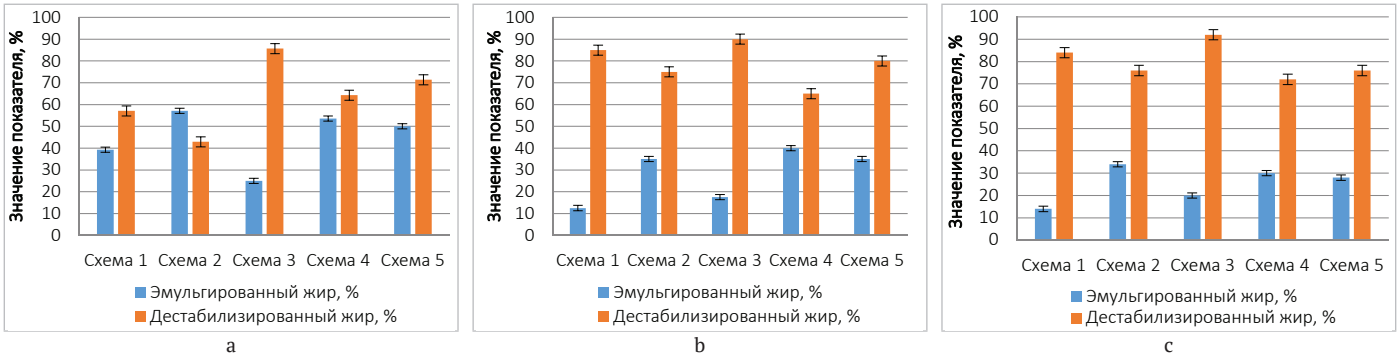
Установлено, что в исследуемых образцах наблюдалась общая тенденция образования кристаллов льда. На Рисунке 5 и в Таблице 2 представлены данные по оценке морфологии и размеров кристаллов льда в 40%-ных сливках.

Таблица 2. **Характеристика размеров (L) кристаллов льда**
Table 2. **Characteristics of the size (L) of ice crystals**

№ схемы замораживания/ хранения	$L_{ср}$, мкм	L_{min}, мкм	L_{max}, мкм	Содержание кристаллов льда, %		
				до 70 мкм	от 71 до 100 мкм	более 101 мкм
1	61,9 ± 3,18[b]	14,6	265,0	67,1	19,6	13,3
2	104,5 ± 5,29[a]	44,8	216,0	14,6	29,3	56,1
3	104,6 ± 3,85[a]	44,4	221,0	15,7	33,7	50,6
4	112,3 ± 2,82[a]	59,4	163,0	15,4	23,1	61,5
5	159,9 ± 7,90[c]	83,8	281,0	0,0	5,3	94,7

Примечание: значения с одинаковой буквой в одной столбце существенно не различаются ($p > 0,05$), для остальных показателей значения существенно различаются ($p < 0,05$).

Согласно литературным данным [17], применение более низких температур замораживания способствует более равномерному распределению мелких кристаллов льда в матрице сливок, тогда как



a b c

Рисунок 4. **Показатели дестабилизированного и эмульгированного жира в сливках жирностью 30% (a), 40% (b) и 50% (c) после замораживания и хранения**
Figure 4. **Indicators of destabilized and emulsified fat in cream with a fat content of 30% (a), 40% (b) and 50% (c) after freezing and storage**

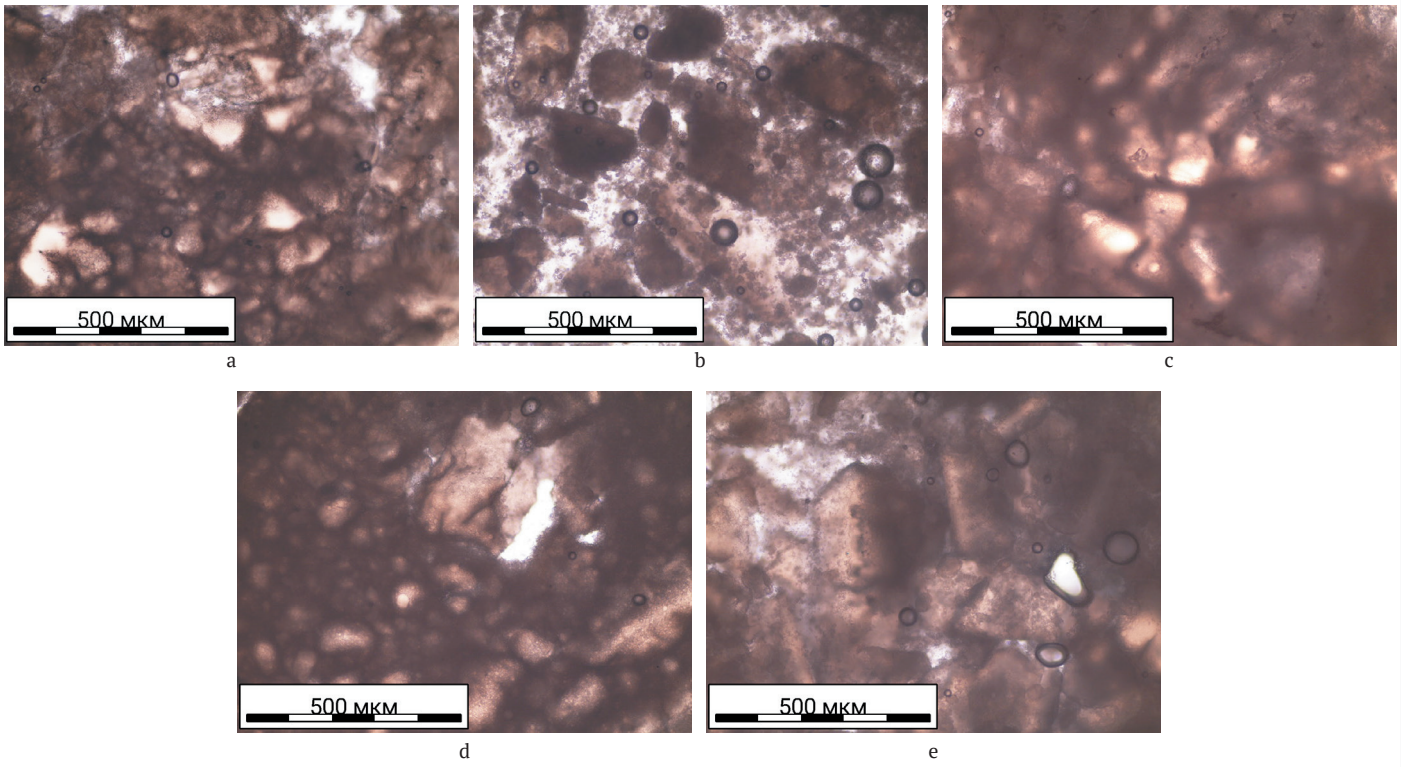


Рисунок 5. **Микрофотографии кристаллов льда в сливках с массовой долей жира 40%, замороженных и хранимых по схемам 1(a); 2(b); 3(c); 4(d); 5(e)**

Figure 5. **Micrographs of ice crystals in cream with a mass fraction of fat of 40%, frozen and stored according to schemes 1(a); 2(b); 3(c); 4(d); 5(e)**

замораживание при минус 18 °С обычно приводит к образованию крупных кристаллов льда. По полученным нами сведениям, средний размер кристаллов в сливках, замороженных по схемам 1 и 5, составлял 61,9 и 159,9 мкм соответственно. Содержание мелких кристаллов льда (до 70 мкм) в матрице сливок, замороженных по схеме 1, достигало 67,1%, тогда как в образцах, замороженных по схеме 5, мелкие кристаллы отсутствовали. В сливках, обработанных при температуре минус 18 °С, количественно преобладают кристаллы льда размером более 101 мкм. Полученные нами результаты согласуются с данным источником.

При обработке сливок по схеме 2 и схеме 3 образуются крупные кристаллы льда (более 101 мкм), на их долю приходилось 56,1% и 50,6% соответственно от общего числа кристаллов льда. Было отмечено, что их средний размер составлял около 104,5 мкм ($p > 0,05$). Это позволяет предположить, что образование кристаллов приводит к разрушению мембраны жировых глобул и, в результате, к большему отделению свободного жира. Это подтверждается показателем дестабилизированного жира, который представлен на Рисунке 4.

По Рисунку 5 видно, что при обработке по схеме 4 (замораживание при минус 25 °С и хранение при минус 18 °С) образуются кристаллы льда более округлой формы, которые приводят к меньшему разрыву оболочек жировых шариков, а значит, и к меньшему выделению свободного жира. Такой вывод согласуется с полученными результатами показателя дестабилизированного жира (Рисунок 4b). Анализ данных, приведенных в Таблице 2, показывает, что в данном образце количественно преобладают (61,5%) кристаллы льда размерами более 101 мкм, средний их размер составлял 112,3 мкм.

Таким образом, установлено, что замораживание по схеме 4 способствует образованию по морфологии округлых кристаллов льда, которые оказывают меньшее воздействие на оболочки жировых шариков.

На Рисунке 6 представлены микрофотографии состояния жировой фазы сливок на примере 40%-ных замороженных сливок. В результате исследования микроструктуры установлено, что в образцах сливок, замороженных и хранимых по схемам 1 (Рисунок 6a), 2 (Рисунок 6b), 4 (Рисунок 6d) и 5 (Рисунок 6e), произошло существенное изменение формы и размеров жировых частиц, проявившееся в слиянии разрушенных жировых шариков в крупные глобулы. Размеры образовавшихся конгломератов достигали 33,6 мкм. Средний диаметр жировых шариков в сливках, обработанных по вышеперечисленным схемам, колеблется от 3,33 мкм до 4,97 мкм. На их долю приходится 48,9%, 41,9%, 50,7% и 51,2% от общего объема частиц соответственно. Было установлено, что при обработке сливок в матрице сохраняются жировые шарики размерами до 4,0 мкм.

При обработке по схеме 3 отмечена высокая степень дестабилизации жировой эмульсии. В структуре (Рисунок 6c) преобладали жировые шарики с разрушенными оболочками, которые образовывали конгломераты жира. Жировые частицы с неразрушенными мембранами имели размеры от 3,4 до 11,2 мкм. Наличие в структуре большого количества жировых частиц с разрушенными оболочками при дальней дефростации приведет к выделению свободного жира на поверхность сливок, что в дальнейшем может оказать негативное влияние на показатели качества продукта, изготовленного из замороженных сливок — сливочного масла.

Таким образом, доказано, что замораживание способствует сохранению жировых шариков диаметром до 4,0 мкм. Крупные жировые шарики (более 4 мкм) при обработке разрушаются, и при дальнейшей дефростации выделяются на поверхность сливок в виде свободного жира. Аналогичная тенденция была отмечена в 30%-ных и 50%-ных сливках.

При оценке влияния различных режимов обработки сливок было выявлено, что при образовании кристаллов льда происходит перераспределение жировых частиц в структуре сливок. Это более заметно на Рисунке 6e. Жировые частицы скапливаются в свободных от кристаллов льда промежутках. Как известно [22], в процессе хранения не происходит роста количества кристаллов льда, изменяется лишь их размер. При увеличении их размеров происходит сдавливание уже скопившихся жировых частиц, что в результате приводит к разрушению мембран жировых глобул и к выделению жира.

4. Выводы

В результате исследований установлена зависимость между показателями дестабилизированного жира и содержанием массовой доли жира в сливках до и после замораживания.

Установлено, что замораживание в условиях более низких температур с дальнейшим перемещением для хранения при минус 18 °С оказывает меньшее разрушающее воздействие на оболочки жировых шариков. Обработка при минус 50 °С и хранение сливок при этой температуре не оказала существенного стабилизирующего эффекта на структуру сливок. Применение данного режима для замораживания и хранения сливок в промышленных условиях подразумевает под собой наличие специальных холодильных камер и приводит к большим энергозатратам, поэтому данный режим использовать не рекомендуется.

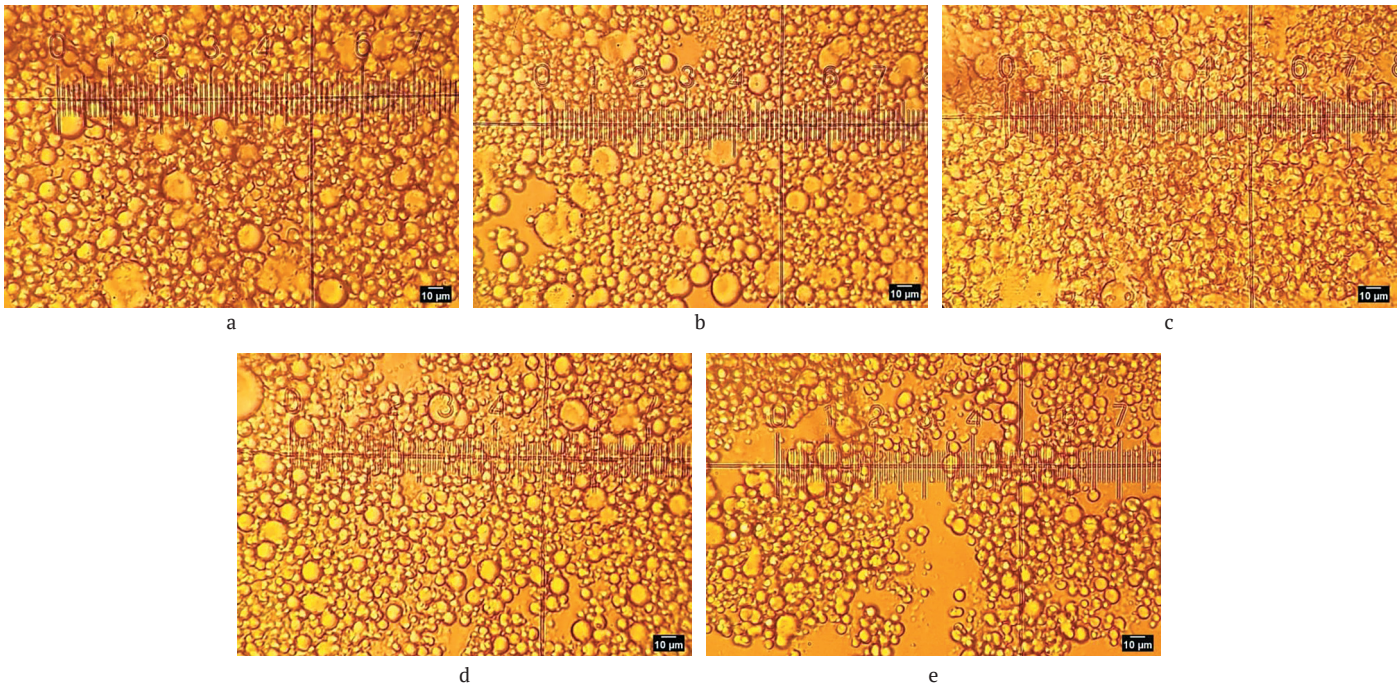


Рисунок 6. **Микрофотографии жировой фазы в сливках с массовой долей жира 40%, замороженных и хранимых по схемам 1(a); 2(b); 3(c); 4(d); 5(e)**

Figure 6. **Micrographs of the fat phase in cream with a fat mass fraction of 40%, frozen and stored according to schemes 1(a); 2(b); 3 (c); 4 (d); 5(e)**

Выявлено, что низкие температуры замораживания способствуют образованию мелких кристаллов льда, тогда как замораживание при более высоких температурах приводит к преобладанию в структуре крупных кристаллов льда.

Обработка сливок по схеме 4 (замораживание при минус 25 °С и хранение при минус 18 °С) позволяет получить продукт с более устойчивой жировой фазой. При использовании данной схемы образуются более округлые кристаллы льда, которые оказывают меньшее воздействие на оболочки жировых шариков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fellows, P. J. (2022). Food processing technology: Principles and practice. Woodhead publishing: Cambridge, 2022.
2. Ojha, K. S., Kerry, J. P., Tiwari, B. K., O'Donnell, C. (2016). Freezing for Food Preservation. Chapter in a book: Reference Module in Food Science. Elsevier: Amsterdam, Netherlands, 2016. https://doi.org/10.1016/b978–0–08–100596–5.03108–5
3. James, C., Purnell, G., James, S. J. (2015). A review of novel and innovative food freezing technologies. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 1616–1634. https://doi.org/10.1007/s11947–015–1542–8
4. Hu, R., Zhang, M., Liu, W., Mujumdar, A. S., Bai, B. (2022). Novel synergistic freezing methods and technologies for enhanced food product quality: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2), 1979–2001. https://doi.org/10.1111/1541–4337.12919
5. James, S. J., James, C. (2023). Chilling and freezing. Chapter in a book: Food Safety Management. Academic Press, 2023. https://doi.org/10.1016/B978–0–12–820013–1.00005-X
6. Kutz, M. (2019). Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering. Academic press: Cambridge, MA, USA, 2019.
7. Dalvi-Isfahan, M., Jha, P. K., Tavakoli, J., Daraei-Garmakhany, A., Xanthakis, E., Le-Bail, A. (2019). Review on identification, underlying mechanisms and evaluation of freezing damage. *Journal of Food Engineering*, 255, 50–60. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.011
8. Degner, B. M., Olson, K. M., Rose, D., Schlegel, V., Hutkins, R., McClements, D. J. (2013). Influence of freezing rate variation on the microstructure and physicochemical properties of food emulsions. *Journal of Food Engineering*, 119(2), 244–253. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.034
9. Mahato, S., Zhu, Z., Sun, D.-W. (2019). Glass transitions as affected by food compositions and by conventional and novel freezing technologies: A review. *Trends in Food Science and Technology,* 94, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.010
10. Кручинин, А. Г., Туровская, С. Н., Илларионова, Е. Е., Бигаева, А. В. (2020). К вопросу влияния замораживания на технологические свойства молока. *Вестник Международной академии холода*, 3, 58–63. https://doi.org/10.17586/1606–4313–2020–19–3–58–63
11. Ефимова Л. В., Зазнобина Т. В., Гатилова Е. В., Иванова О. В. (2020). Влияние замораживания на качество молока коров. *Аграрный научный журнал*, 9, 54–57. https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp54–57
12. Афанасьева, А. А. (2021). Влияние замораживания, низкотемпературного хранения и дефростации на качество сливок. *Пищевые системы*, 4(3S), 12–16. https://doi.org/10.21323/2618–9771–2021–4–3S-12–16
13. Tribst, A. A. L., Falcade, L. T. P., Ribeiro, L. R., Leite Júnior, B. R.de C., de Oliveira, M. M. (2019). Impact of extended refrigerated storage and freezing/thawing storage combination on physicochemical and microstructural characteristics of raw whole and skimmed sheep milk. *International Dairy Journal*, 94, 29–37. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.02.013
14. Alinovi, M., Mucchetti, G., Wiking, L., Corredig, M. (2021). Freezing as a solution to preserve the quality of dairy products: The case of milk, curds and cheese. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(20), 3340–3360. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1798348
15. Evers, J. M. (2004). The milk fat globule membrane — compositional andstructural changes post secretion by the mammary secretory cell. *International Dairy Journal*, 14(8), 661–674. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.01.005
16. Ишевский, А. Л., Давыдов И. А. (2017). Замораживание как метод консервирования пищевых продуктов. *Теория и практика переработки мяса*, 2(2), 43–59. https://doi.org/10.21323/2414–438X-2017–2–2–43–59
17. Bronfenbrener, L., Rabeea, M. A. (2015). Kinetic approach to modeling the freezing porous media: application to the food freezing. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification,* 87, 110–123. https://doi.org/10.1016/j.cep.2014.11.008
18. Bøgh-Sørensen, L. (2006). Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods. IIR, France, 2006.
19. Tribst, A. A. L., Falcade, L. T. P., Carvalho, N. S., Cristianini, M., Leite Junior B. R. C., de Oliveira, M. M. (2020). Using physical processes to improve physicochemical and structural characteristics of fresh and frozen/thawed sheep milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 59, Article 102247. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102247
20. Symons, H. (1994). Frozen foods. Chapter in a book: Shelf Life Evaluation of Foods. London: Blackie Academic and Professional, 1994.
21. Короткий, И. А., Васильев, К. И. (15 октября, 2020). *К вопросу о необходимом уровне температур при хранении пищевых продуктов в замороженном состоянии и стабильности температурного режима хранения*. Тезисы конференции: Актуальные вопросы науки и техники: проблемы, прогнозы, перспективы. Кемерово, Россия, 2020.
22. Goff, H. D., Hartel, R. W. (2013). Ice cream. Springer New York, NY, 2013. https://doi.org/10.1007/978–1–4614–6096–1

REFERENCES

1. Fellows, P. J. (2022). Food processing technology: Principles and practice. Woodhead publishing: Cambridge, 2022.
2. Ojha, K. S., Kerry, J. P., Tiwari, B. K., O'Donnell, C. (2016). Freezing for Food Preservation. Chapter in a book: Reference Module in Food Science. Elsevier: Amsterdam, Netherlands, 2016. https://doi.org/10.1016/b978–0–08–100596–5.03108–5
3. James, C., Purnell, G., James, S. J. (2015). A review of novel and innovative food freezing technologies. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 1616–1634. https://doi.org/10.1007/s11947–015–1542–8
4. Hu, R., Zhang, M., Liu, W., Mujumdar, A. S., Bai, B. (2022). Novel synergistic freezing methods and technologies for enhanced food product quality: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2), 1979–2001. https://doi.org/10.1111/1541–4337.12919
5. James, S. J., James, C. (2023). Chilling and freezing. Chapter in a book: Food Safety Management. Academic Press, 2023. https://doi.org/10.1016/B978–0–12–820013–1.00005-X
6. Kutz, M. (2019). Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering. Academic press: Cambridge, MA, USA, 2019.
7. Dalvi-Isfahan, M., Jha, P. K., Tavakoli, J., Daraei-Garmakhany, A., Xanthakis, E., Le-Bail, A. (2019). Review on identification, underlying mechanisms and evaluation of freezing damage. *Journal of Food Engineering*, 255, 50–60. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.011
8. Degner, B. M., Olson, K. M., Rose, D., Schlegel, V., Hutkins, R., McClements, D. J. (2013). Influence of freezing rate variation on the microstructure and physicochemical properties of food emulsions. *Journal of Food Engineering*, 119(2), 244–253. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.034
9. Mahato, S., Zhu, Z., Sun, D.-W. (2019). Glass transitions as affected by food compositions and by conventional and novel freezing technologies: A review. *Trends in Food Science and Technology,* 94, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.010
10. Kruchinin, A. G., Turovskaya, S. N., Illarionova, E. E., Bigaeva, A. V. (2020). The effect of freezing on the technological properties of milk. *Journal of International Academy of Refrigeration,* (3), 58–63. https://doi.org/10.17586/1606–4313–2020–19–3–58–63 (In Russian)
11. Efimova, L. V., Zaznobina, T. V., Gatilova, E. V., Ivanova, O. V. (2020). Effect of freezing on the milk quality of cows. *The Agrarian Scientific Journal*, 9, 54–57. https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp54–57 (In Russian)
12. Afanasyeva, A. A. (2021). The effect of freezing, low-temperature storage and defrosting on the quality of cream. *Food Systems*, 4(3S), 12–16. https://doi.org/10.21323/2618–9771–2021–4–3S-12–16 (In Russian)
13. Tribst, A. A. L., Falcade, L. T. P., Ribeiro, L. R., Leite Júnior, B. R.de C., de Oliveira, M. M. (2019). Impact of extended refrigerated storage and freezing/thawing storage combination on physicochemical and microstructural characteristics of raw whole and skimmed sheep milk. *International Dairy Journal*, 94, 29–37. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.02.013
14. Alinovi, M., Mucchetti, G., Wiking, L., Corredig, M. (2021). Freezing as a solution to preserve the quality of dairy products: The case of milk, curds and cheese. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(20), 3340–3360. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1798348
15. Evers, J. M. (2004). The milk fat globule membrane — compositional and structural changes post secretion by the mammary secretory cell. *International Dairy Journal*, 14(8), 661–674. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.01.005
16. Ishevsky, A. L., Davydov I. A. (2017). Freezing as a method of food preservation. *Theory and Practice of Meat processing*, 2(2), 43–59. https://doi.org/10.21323/2414–438X-2017–2–2–43–59 (In Russian)
17. Bronfenbrener, L., Rabeea, M. A. (2015). Kinetic approach to modeling the freezing porous media: application to the food freezing. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 87, 110–123. https://doi.org/10.1016/j.cep.2014.11.008
18. Bøgh-Sørensen, L. (2006). Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods. IIR, France, 2006.
19. Tribst, A. A. L., Falcade, L. T. P., Carvalho, N. S., Cristianini, M., Leite Junior B. R. C., de Oliveira, M. M. (2020). Using physical processes to improve physicochemical and structural characteristics of fresh and frozen/thawed sheep milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 59, Article 102247. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102247
20. Symons, H. (1994). Frozen foods. Chapter in a book: Shelf Life Evaluation of Foods. London: Blackie Academic and Professional, 1994.
21. Korotkiy, I. A., Vasiliev, K. I. (October 15, 2020). *To the question of the necessary temperature level during the storage of food products in a frozen state and the stability of the temperature regime of storage.* Conference abstracts: Topical issues of science and technology: problems, forecasts, prospects. Kemerovo, Russia, 2020. (In Russian)
22. Goff, H. D., Hartel, R. W. (2013). Ice cream. Springer New York, NY, 2013. https://doi.org/10.1007/978–1–4614–6096–1

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Топникова Елена Васильевна — доктор технических наук, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7–910–666–93–93 E-mail: e.topnikova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–0225–6870	**Elena V. Topnikova**, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Scientific Work, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7–910–666–93–93 E-mail: e.topnikova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–0225–6870
Афанасьева Анастасия Андреевна — младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7–901–040–48–34 E-mail: a.afanasyeva@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–0323–2507 * автор для контактов	**Anastasia A. Afanasyeva**, Junior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7–901–040–48–34 E-mail: a.afanasyeva@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–0323–2507 * corresponding author
Грызунов Алексей Алексеевич — научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, г. Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7–495–610–80–92 E-mail: grizu-nov@rambler.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–4591–5688	**Aleksei A. Gryzunov**, Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostykova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7–495–610–80–92 E-mail: grizu-nov@rambler.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0003–4591–5688
Гурский Игорь Алексеевич — младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, г. Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7–495–610–83–85 E-mail: iixrug@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–8177–3472	**Igor A. Gurskiy**, Junior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostykova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7–495–610–83–85 E-mail: iixrug@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–8177–3472
Критерии авторства	**Contribution**
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	**Conflict of interest**
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-431-436

Поступила 19.07.2023
Поступила после рецензирования 26.09.2023
Принята в печать 29.09.2023
© Оганесянц Л. А., Панасюк А. Л., Кузьмина Е. И., Свиридов Д. А., Лиховской В. В., Загоруйко В. А, Шмигельская Н. А., 2023

https://www.fsjour.com/jour
Краткое сообщение
Open access

ИЗОТОПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ВИН КРЫМА

Оганесянц Л. А.[1], Панасюк А. Л.[1], Кузьмина Е. И.[1], Свиридов Д. А. [1],*
Лиховской В. В.[2], Загоруйко В. А. [2], Шмигельская Н. А.[2]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, Москва, Россия
[2] Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, Ялта, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *коллекционное вино, изотопная масс-спектрометрия, органолептический анализ, этанол, идентификационные показатели*

АННОТАЦИЯ

Коллекционные вина представляют собой особую категорию винодельческой продукции, которая приобретает свои уникальные характеристики в процессе выдержки. Одна из первых коллекций вин в России была заложена в 1833–1835 гг. в Магарачском казенном заведении, который сегодня является Всероссийским национальным научно-исследовательским институтом виноградарства и виноделия «Магарач». Большую часть коллекции «Магарача» представляют крепленые вина, производство которых осуществлялось внесением спирта различной природы — виноградным, зерновым, мелассным, что было обусловлено требованиями законодательства, действовавшего на момент производства. Представляло интерес выяснить природу спирта, используемого для крепления вин в предшествующие десятилетия, для чего был использован метод изотопной масс-спектрометрии. Кроме того, необходимо было установить, изменились ли значения изотопных характеристик углерода, кислорода и водорода этанола виноградного происхождения за последние десятилетия. Объектами исследования являлись 15 образцов коллекционных вин Крыма, из них одно сухое вино урожая 1982 года и 14 крепленых вин урожаев прошлого века, самое старое из которых было произведено из винограда урожая 1937 г. Состав стабильных изотопов углерода этанола в образцах определяли на аналитическом комплексе Delta V Advantage. Установлено, что сухое вино 1982 г. было произведено без внесения спирта. Несмотря на то, что возраст напитка составляет более сорока лет, значения изотопных характеристик элементов этанола являются типичными для современной продукции, произведенной исключительно из винограда. То есть изотопные характеристики углерода, кислорода и водорода сахаров виноградной ягоды существенно не изменились за исследуемый период. При анализе крепленых вин видно, что значения изотопных характеристик углерода находятся в диапазоне от минус 27,23‰ до минус 24,13‰ (кроме одного образца со значением минус 15,49‰); кислорода — от 7,21‰ до 17,09‰; водорода — от минус 270‰ до минус 216‰. Таким образом, для большинства исследованных образцов полученные значения изотопных характеристик элементов этанола характерны именно для смеси виноградных и зерновых спиртов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают благодарность редактору Клепайло А. И. за информацию об энотеке Всероссийского национального научно-исследовательского института виноградарства и виноделия «Магарач» РАН.

Received 19.07.2023
Accepted in revised 26.09.2023
Accepted for publication 29.09.2023
© Oganesyants L. A., Panasyuk A. L., Kuzmina E. I., Sviridov D. A., Likhovsky V. V., Zagoruiko V. A., Shmigelskaya N. A., 2023

Available online at https://www.fsjour.com/jour
Short communications
Open access

ISOTOPIC CHARACTERISTICS OF CRIMEAN COLLECTION WINES

Lev A. Oganesyants[1], Alexander L. Panasyuk[1], Elena I. Kuzmina[1], Dmitriy A. Sviridov[1],*
Vladimir V. Likhovsky[2], Victor A. Zagoruiko[2], Natalia A. Shmigelskaya[2]

[1] All-Russian Research Institute of Brewing, Non-Alcoholic and Wine-making Industry, Moscow, Russia
[2] All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" of the RAS, Yalta, Russia

KEY WORDS: *collection wine, isotope mass spectrometry, organoleptic analysis, ethanol, identification indicators*

ABSTRACT

Collection wines are a special category of winemaking products, which acquire their unique characteristics during aging. One of the first wine collections in Russia was created in 1833–1835 in the Magarach state establishment, which is now the All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach". The large part of the Magarach collection consists of strong wines. These wines were produced by introducing alcohol of different nature (grape, grain, molasses), which was conditioned by the requirements of the legislation that was in force at the moment of production. It was interesting to find out the nature of alcohol that was used for wine alcoholization in the preceding decades. To this end, the method of isotope mass spectrometry was used. In addition, it was necessary to establish whether the values of isotopic characteristics of carbon, oxygen and hydrogen of ethanol of grape origin have changed over the last decades. The objects of the research were 15 samples of Crimean collection wines, one of which was dry wine of the 1982 harvest and 14 strong wines were from harvests of the last century with the oldest wine made from grape of the 1937 harvest. The composition of the stable carbon isotopes of ethanol in the samples was determined using the analytical complex Delta V Advantage. It has been found that the dry wine of 1982 harvest was produced without adding alcohol. Although the age of the drink is more than 40 years, the values of the isotopic characteristics of the elements of ethanol are typical for the modern products made exclusively from grape. Thus, the isotopic characteristics of carbon, oxygen and hydrogen of sugars of grape berry did not change significantly over the studied period. When analyzing strong wines, it has been established that the values of the isotopic characteristics of carbon were

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: **Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Кузьмина, Е. И., Свиридов, Д. А., Лиховской, В. В., Загоруйко, В. А., Шмигельская, Н. А.** (2023). Изотопные характеристики коллекционных вин Крыма. *Пищевые системы*, 6(3), 431-436. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-431-436

FOR CITATION: **Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., Kuzmina, E. I., Sviridov, D. A., Likhovsky, V. V., Zagoruiko, V. A., Shmigelskaya, N. A.** (2023). Isotopic characteristics of Crimean collection wines. *Food Systems,* 6(3), 431-436. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-431-436

in a range of –27.23‰ to –24.13‰ (except one sample with a value of –15.49‰); the corresponding values for oxygen were from 7.21‰ to 17.09‰ and for hydrogen from –270‰ to –216‰. Therefore, for most studied samples, the obtained values of isotopic characteristics of the elements of ethanol were typical precisely for the mixture of grape and grain alcohols.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors express their gratitude to the editor Klepailo A. I. for information about the enoteca of the All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Russian Academy of Sciences.

1. Введение

Коллекционные вина — это уникальная категория винодельческой продукции. Они обладают особыми органолептическими свойствами, которые приобретаются в процессе выдержки благодаря отменному качеству винограда, строгой технологии производства и, конечно, времени.

К коллекционным относятся вина, которые после выдержки разливаются в бутылки и дополнительно выдерживаются в бескислородном режиме в энотеках не менее трех лет. Предела по выдержке не существует. Встречаются вина, возраст которых достигает ста лет, они обладают уникальными, присущими только им вкусовыми качествами. При выдержке происходят биохимические процессы, обуславливающие образование соединений, которые придают вину неповторимость вкуса и аромата.

Одна из первых коллекций вин в России заложена в 1833–1835 гг. в Магарачском казенном заведении (ныне институт «Магарач» — первый научный центр виноградарства и виноделия в России), которое было создано в рамках Императорского Никитского сада согласно указу императора Николая II по представлению генерал-губернатора Новороссии графа М. С. Воронцова в сентябре 1828 года. В казенной коллекции вин были созданы надлежащие условия для долговременного хранения вин. Согласно распоряжению генерал-губернатора Новороссии графа М. С. Воронцова № 1060 от 26.10.1834 г. директору Императорского Никитского сада Николаю Гартвису: «*Вина, не способные к длительному хранению, продавать тотчас, остальные хранить 3 года, дабы узнать в течение нескольких лет, до какого совершенства они могут дойти, и потом уже продавать, оставляя некоторое количество из лучших сортов, особливо из мускатных, в бутылках*» [1].

С 1852 по 2012 гг. коллекционные вина хранились в прочном винном подвале, построенном в скалистом грунте в 1851–1853 гг. с «шеей» (лестницей) из природного камня, крытой черепицей и бродильней на 192 бочки.

Первое международное признание магарачских вин состоялось на Всемирной выставке в Вене в 1873 году, где образцы Муската белого и вино из Траминера получили высшую награду — памятный сертификат. Эксперты отметили, что «вина эти в других странах не имеют ничего себе подобного ни по нежности вкуса, ни по аромату, ни по букету».

В период Великой Отечественной войны энотека была эвакуирована в Самарканд, на винзавод имени Ховренко, где еще с дореволюционной поры трудились выпускники училища в Магараче, создававшие «виноделие Туркестана» [1].

В настоящее время энотека расположена на территории института «Магарач» в п. Ливадия. Образцы вин обеспечены уходом и своевременной переукупоркой. Коллекция, основную часть которой составляют крепкие (45%) и ликерные (51,2%) вина, состоит из 39 252 бутылок. Особую ценность представляют столовые хереса 1955–1970 гг., образцы мадер за длительный период времени и, конечно же, дореволюционные шедевры: «Вердельо Магарач» 1887 г., «Мадера Серсиаль» 1899 г., «Мадера Магарач» 1891 г., «Педро Хименес» 1913 г., «Пино гри Магарач» 1891 г., «Мускат Икем» 1888 г.

В энотеке находится около 100 разных видов вин. Каждый образец передает уникальность природных условий Южного берега Крыма, сортовые качества винограда, особенности технологии и мастерства винодела, а также часть истории. Магарачский виноградник представляет собой несколько склонов южной экспозиции, полого спускающихся к морю. Почвы — горные коричневые некарбонатные. Участок защищен от ветра с трех сторон горами, что позволяет практиковать поздние сборы урожая для особо ценных ликерных вин (вторая-третья декады октября). Виноград собирается и сортируется исключительно вручную, перерабатывается в небольших объемах, с использованием щадящих технологий. Виноматериал выдерживается в дубовой таре. Второй, более обширный виноградник расположен в районе п. Вилино Бахчисарайского района, где природно-климатические условия местности благоприятны для выращивания сортов винограда с целью изготовления сухих вин. Почва — южный чернозем слабогумусированный. Здесь на площади около 300 га выращивают «ркацители», «каберне совиньон», «алиготе» и другие сорта. Большую часть коллекции «Магарача» представляют крепленые вина, которые, в отличие от сухих вин, могут храниться десятилетиями и даже столетиями, со временем развивая свой букет. В определенные периоды производства их крепление осуществлялось внесением спирта различной природы — виноградным, зерновым, мелассным, что было обусловлено требованиями законодательства, действовавшего на момент производства.

В настоящее время в отечественной и мировой практике с целью установления присутствия спиртов невиноградного происхождения в вине активно используется метод изотопной масс-спектрометрии [2–6]. Благодаря ботаническим особенностям различных сельскохозяйственных культур, в том числе винограда, значения изотопных характеристик углерода, кислорода и водорода сахаров, а впоследствии и спиртов составляют уникальную композицию [7–11]. Таким образом, полученные значения отношений изотопов элементов выделенного из вина этанола позволяют сделать вывод о факте присутствия невиноградных спиртов, а также о природе их происхождения.

В течение прошлого века нормативная документация, устанавливающая правила для производства крепленых вин, претерпевала некоторые изменения. В связи с этим представляли интерес сведения о происхождении спирта, используемого для их крепления в предыдущие десятилетия. Кроме того, необходимо было установить, изменились ли значения изотопных характеристик углерода, кислорода и водорода этанола виноградного происхождения при выдержке и хранении вина.

2. Объекты и методы

Объектами исследования являлись 15 образцов коллекционных вин Крыма, из них одно сухое вино урожая 1982 года и 14 крепленых вин урожаев прошлого века, самое старое из которых было произведено из винограда урожая 1937 г.

Для определения состава стабильных изотопов углерода в образцах этанола использовался аналитический комплекс (ThermoFisherScientific, США — Германия), включающий следующие составляющие: двухреакторный элементный анализатор Flash 2000 для органических и неорганических объектов, оснащенный автодозатором для работы с жидкими пробами; универсальный интерфейс ConfioIV; масс-спектрометр IRMSDeltaVAdvantage для анализа стабильных изотопов легких элементов; система подачи высокоочищенных газов; специализированная рабочая станция для управления изотопным исследованием; высокоуровневый программный пакет Isodat 3.0 для регистрации и обработки результатов измерения. Измерения значений $\delta^{13}C$ проводили с использованием окислительно-восстановительного реактора. Образцы сжигали в окислительно-восстановительном реакторе при температуре 1000 °C в потоке кислорода и газа-носителя (гелия) до диоксида углерода. В качестве окислителей применяли химически чистые соединения Cr_2O_3 и CuO, в качестве восстановителя — металлическую медь (Cu). CO_2 через интерфейс ConFlow поступал в ионный источник изотопного масс-спектрометра, где проводился анализ изотопных отношений. Данные ионного тока и интенсивности пика обрабатывались программным комплексом ISODAT. Значения $\delta^{13}C$ рассчитывались в промилле (‰) для каждого образца. Калибровку проводили при помощи международного стандартного образца BCR656 [12].

При измерении отношений изотопов водорода и кислорода применяли аналогичную пробоподготовку. Измерение значений δD, $\delta^{18}O$ проводили при помощи пиролитического реактора с графитовым наполнителем. Образцы подвергались пиролизу в реакторе при температуре 1400 °C. При измерении значений $\delta^{18}O$ в качестве газа сравнения применяется химически чистый CO, при измерении значений δD — химически чистый H_2. Анализ изотопных отношений и обработка данных проходит аналогичным образом. Калибровку проводили при помощи международных стандартных образцов VSMOW2, SLAP2 и USGS47 [13–15].

Пробоподготовку исследуемых образцов вин проводили следующим образом. В колбу вместимостью 50 $см^3$ помещали 25 $см^3$ пробы и осуществляли экстракцию этанола при температуре не выше 78,5 °C. Собирали дистиллят при температуре (78,0–78,5) °C. Если температура превышала 78,5 °C, операцию останавливали на

5 минут. Когда температура снижалась до 78,0 °С, снова продолжали отбор дистиллята до очередного повышения температуры. Полная дистилляция длилась примерно 1 час. Такой способ позволяет рекуперировать до 98–98,5% общего спирта из пробы. Органолептическую оценку проводили по 100-балльной шкале в соответствии с ГОСТ 32051–2013[1] (100–96 — «превосходно»; 95–90 — «отлично»; 89–80 — от «хорошо» до «очень хорошо»; 79–70 — «посредственно»; 69–50 — от «посредственно» до «неудовлетворительно»).

3. Результаты и обсуждение

При обсуждении результатов исходили из известных требований к рассматриваемым видам винодельческой продукции, согласно которым сухие вина производят без добавления спирта, в то время как в крепленые (ликерные) вина для достижения необходимых кондиций вносят спирт, но только из пищевого сырья. Крепление вин синтетическим спиртом запрещено не только в настоящее время, но и во все предшествующие годы.

Во ВНИИПБиВП в течение нескольких лет проводятся исследования по изучению отношений изотопов биофильных элементов растительного сырья и произведенной из него продукции, в том числе спиртов. Совместно с ВННИВиВ «Магарач» были проведены исследования по изучению изотопных характеристик легких элементов компонентов винограда и продуктов его переработки с целью аутентификации и установления географического происхождения [2–5].

Для определения природы спирта в винах и с целью проведения объективной экспертизы необходимо было установить числовые значения изотопных характеристик углерода, кислорода и водорода этанола из сырья различного происхождения. Данные приведены в Таблице 1.

Таблица 1. **Диапазоны значений изотопных характеристик углерода, кислорода и водорода этанола из некоторых видов сырья**

Table 1. **Ranges of the values of isotopic characteristics of carbon, oxygen and hydrogen of ethanol from several types of raw materials**

Наименование сырья	$\delta^{13}C$, ‰	$\delta^{18}O$, ‰	δD, ‰
Виноградный спирт	−29,00 … −25,50	8,00 … 22,00	−250 … −190
Зерновой спирт	−25,90 … −24,50	8,00 … 13,50	−265 … −230
Тростниковый спирт	−12,50 … −10,00	8,00 … 12,00	−240 … −210
Кукурузный спирт	−15,50 … −13,50	10,00 … 13,50	−240 … −210
Мелассный спирт	−28,00 … −26,50	1,00 … 3,00	−290 … −260
Синтетический спирт	−35,50 … −31,20	−15,20 … −14,20	−160 … −140

При анализе коллекционных вин разных возрастов, начиная с урожая 1937 года, требовалось определить целесообразность использования современных критериев (Таблица 1), характеризующих изотопные значения элементов этанола разного происхождения, для оценки вин прошлого века.

В исследуемых образцах коллекционных вин измеряли значения изотопных отношений углерода, кислорода и водорода выделенного этанола. Результаты представлены в Таблице 2.

Сухое вино «Совиньон блан. Магарач» урожая 1982 г. произведено без внесения спирта. Несмотря на сорокалетний возраст напитка, полученные значения изотопных характеристик элементов этанола, указанные в Таблице 2, являются типичными для продукции, производимой в настоящее время исключительно из винограда. Таким образом, можно утверждать, что изотопные характеристики углерода, кислорода и водорода сахаров виноградной ягоды существенно не менялись за исследуемый период. Этот факт подтверждает обоснованность использования интервала фиксированных значений критериев подлинности. Их ежегодный мониторинг может выявлять только локальные изменения, связанные с климатическими изменениями в конкретной местности.

При этом следовало обратить внимание на то, что при выдержке и хранении вин и крепких напитков из винограда в условиях контакта с атмосферным воздухом, например, при выдержке в производственной таре различной вместимости, может проходить фракционирование изотопов элементов этанола. В первую очередь испарению подвержены молекулы с высоким содержанием легких изотопов ^{12}C, ^{16}O и ^{1}H. Таким образом, при исследовании изотопных характеристик элементов этанола выдержанных вин и коньяков часто наблюдается смещение значений в сторону большего содержания тяжелых изотопов ^{13}C, ^{18}O и ^{2}H.

Таблица 2. **Значения изотопных отношений углерода, кислорода и водорода этанола коллекционных вин**

Table 2. **Values of isotopic ratios of carbon, oxygen and hydrogen of ethanol of collection wines**

№ п/п	Наименование образца	Год урожая	Объемная доля этилового спирта, %	Массовая концентрация сахаров, г/дм³	Значения изотопных отношений		
					$\delta^{13}C$, ‰	$\delta^{18}O$, ‰	δD, ‰
1	Вино сухое Совиньон блан Магарач	1982	11,7	2,0	−27,23	15,87	−216,96
2	Мадера Альминская	2001	19,7	45	−25,31	13,52	−249,57
3	Портвейн белый Магарач	2000	16,7	60	−25,62	11,03	−249,78
4	Мадера Альминская	1991	19,6	43	−25,03	10,61	−245,64
5	Портвейн красный Магарач	1990	17,8	63	−24,31	12,26	−243,18
6	Мадера Альминская	1986	19,2	53	−26,16	10,20	−246,52
7	Сердолик Тавриды	1980	15,6	182	−27,00	7,21	−267,76
8	Серсиаль	1974	17,7	38	−26,20	12,22	−247,13
9	Серсиаль	1970	19,3	44	−25,16	13,58	−243,32
10	Магарач № 27	1970	15,0	173	−25,88	9,34	−263,96
11	Пино гри Магарач	1964	15,0	191	−15,49	15,65	−229,25
12	Мускат розовый	1957	12,9	311	−24,13	17,04	−243,21
13	Мускат белый	1949	13,1	247	−25,86	12,69	−270,10
14	Мускат белый	1940	12,8	268	−24,53	17,09	−233,94
15	Мускат розовый	1937	12,1	245	−24,53	16,57	−250,82

Значения изотопных характеристик углерода (минус 27,23‰), кислорода (15,87‰) и водорода (минус 216,96‰), полученные для данного образца, находятся в середине соответствующих диапазонов, установленных для продукции, произведенной исключительно из винограда. Поскольку вина выдерживаются в плотно закупоренных бутылках, исключающих какое-либо испарение при хранении в коллекции, незначительное фракционирование могло иметь место только на стадии бочковой выдержки.

При анализе крепленых вин (Таблица 2) видно, что значения изотопных характеристик углерода лежат в диапазоне от минус 27,23‰ до минус 24,13‰ (кроме одного образца со значением минус 15,49‰), кислорода — от 7,21‰ до 17,09‰ и водорода — от минус 270‰ до минус 216‰. Технология анализируемых вин предусматривала внесение спиртов из пищевого сырья, вырабатываемого по действовавшим ранее редакциям ГОСТ 5962–2013[2]. В соответствии с указанным стандартом, получение такого спирта возможно из: «зерна, картофеля, зерна с картофелем; из смеси зерна, картофеля, сахарной свеклы и мелассы, сахара-сырца и другого сахаро- и крахмалосодержащего пищевого сырья в различных соотношениях; из мелассы». В настоящее время, в соответствии с требованиями Федерального закона № 468-ФЗ[3] для получения крепленых вин, разрешено использование только спирта виноградного происхождения и зернового спирта.

Для большинства исследованных образцов полученные значения изотопных характеристик элементов этанола характерны именно для смеси виноградных и зерновых спиртов. Однако значения, полученные для двух образцов, следует рассмотреть отдельно.

Значения изотопных характеристик углерода этанола (минус 15,49‰), полученные при анализе вина «Пино-гри. Магарач» не являются типичными для вина, крепленого зерновым спиртом. Такие значения характерны для вин, произведенных с использованием

[1] ГОСТ 32051–2013 «Продукция винодельческая. Методы органолептического анализа». М.: Стандартинформ, 2019. — 19 с.

[2] ГОСТ 5962–2013 «Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2014. —14 с.

[3] Федеральный закон от 27.12.2019 г № 468-ФЗ. «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации». Подписан Президентом Российской Федерации 27 декабря 2019 г.

этанола, полученного в результате переработки С4-типа растений (кукуруза, сахарный тростник). Как видно из Таблицы 2, при производстве данного вина виноградное сусло сбраживалось до содержания сахаров 19% перед внесением ректификованного спирта. Учитывая, что исходное содержание сахара в винограде, пошедшего на изготовление вина, по всей видимости, составляло от 23% и выше, то есть вино содержит 2–3% спирта естественного наброда, нетрудно подсчитать, что при конечной концентрации спирта в молодом вине 16% соотношение нативного виноградного и экзогенного пищевого спирта составляет примерно от 1:7 до 1:5. При использовании именно кукурузного спирта такая пропорция дает значение, установленное в результате опыта. Таким образом, можно предположить, что при производстве этого вина был использован кукурузный спирт, что не было запрещено действовавшим в 60-е годы законодательством.

Образец коллекционного десертного вина «Сердолик Тавриды», исходя из полученных значений углерода этанола (минус 27,00‰) и кислорода этанола (7,21)‰, изготавливали с использованием мелассного спирта.

Остальные исследованные образцы, вероятно, были получены с применением зернового спирта. При этом, судя по полученным данным, ни один образец не содержал синтетический спирт.

При органолептической оценке коллекционных вин было выявлено, что практически все образцы характеризовались сложным букетом с различными оттенками в зависимости от типа вина (Таблица 3).

Среди изученных образцов 65% получили дегустационную оценку на уровне 90–94 балла, что соответствует характеристике «отлично», остальные оценены в пределах 83–89 баллов, что соответствует характеристике от «хорошо» до «очень хорошо». Дегустационной

Таблица 3. **Органолептическая характеристика и дегустационная оценка коллекционных вин**

Table 3. **Organoleptic characteristics and tasting of collection wines**

№ п/п	Наименование образца	Год урожая	Характеристика	ДО, балл
1	Вино сухое «Совиньон блан Магарач»	1982	Прозрачный. Цвет — золотистый с зеленоватым оттенком. Букет — развитый, травянистого направления, с укропными оттенками, с гудронными нотками. Вкус — умеренно свежий.	85
2	«Мадера Альминская»	2001	Прозрачный с незначительными взвесями. Цвет — золотистый. Букет — сложный, орехово-сухофруктовый, с камельно-цитрусовыми оттенками, с коньячной ноткой. Вкус — полный, с горчинкой.	87
3	«Портвейн Белый Магарач»	2000	Прозрачный. Цвет — золотистый. Букет — строгий, яркий, сухофруктового направления, с оттенками копченой груши, классический тип. Вкус — гармоничный, свежий, спиртуозный.	88
4	«Мадера Альминская»	1991	Прозрачный. Цвет — золотистый. Букет — сложный, орехово-растительного направления, с грибными оттенками, со смолистыми нотками. Вкус — гармоничный, полный, с горчинкой.	90
5	«Портвейн Красный Магарач»	1990	Легкий опал. Цвет — красный с оттенками. Букет — простой, ягодного направления, с оттенками вишни. Вкус — простой, с компотными тонами, непродолжительное послевкусие.	83
6	«Мадера Альминская»	1986	Прозрачный с незначительными взвесями. Цвет — золотистый. Букет — сложный, деликатный, орехового направления, с карамельно-коньячной ноткой. Вкус — полный, гармоничный.	90
7	«Сердолик Тавриды»	1980	Прозрачный. Цвет — золотистый. Букет — фруктового направления, с дюшесно-айвовыми оттенками, нотки увяленных ягод, с дымными тонами, с легкими тонами пробки, переходящими во вкус. Вкус — полный, свежий.	89
8	«Серсиаль»	1974	Прозрачный с незначительными включениями хлопьев осадка. Цвет — золотистый. Букет — сложный, яркий, сухофруктового направления, с оттенками цукатов, изюма, шоколада. Вкус — гармоничный, полный, свежий, с цитрусовым послевкусием.	91
9	«Серсиаль»	1970	Прозрачный с незначительными включениями хлопьев осадка. Цвет — золотистый. Букет — сложный, орехово-сухофруктового направления, с оттенками сухотравья, с нотками кожи и масла лепестков розы. Вкус — развитый, насыщенный.	92
10	«Магарач № 27»	1970	Прозрачный. Цвет — золотистый с розовинкой. Букет — сухофруктового направления, с айвово-сливово-вишневыми нотками, с оттенками шиповника и меда. Вкус — гармоничный, с легкой горчинкой.	90
11	«Пино-гри Магарач»	1964	Прозрачный. Цвет — золотистый. Букет — сложный, цветочно-леденцового направления, с оттенком барбариса, ириса и меда. Вкус — гармоничный, с карамельно-сиропным послевкусием.	90
12	«Мускат Белый Магарач»	1949	Прозрачный. Цвет — золотистый. Букет — деликатный, сухофруктово-пряного направления, с хвойно-смолистыми нотками. Вкус — мягкий, свежий, сбалансированный, с длительным послевкусием.	93
13	«Мускат Белый Магарач»	1940	С легким опалом. Цвет — золотистый. Букет — тонкий, медово-сухофруктового направления, с оттенками кофе, шоколада. Вкус — полный, мягкий.	94
14	«Мускат Розовый Магарач»	1937	С опалом. Цвет — золотистый. Букет — яркий, цветочно-медово-сухофруктового направления, с оттенками розового масла, инжира. Вкус — полный, комплексный.	93

Примечание: ДО — дегустационная оценка.

комиссией были отмечены оценкой «отлично» образцы вин «Мускат Белый Магарач» 1949 г., «Мускат Белый Магарач» 1940 г., «Мускат Розовый Магарач» 1937 г., которые обладали ярким, тонким, деликатным букетом с гармоничным вкусом. В результате органолептической оценки было установлено, что все изучаемые коллекционные вина были высокого качества.

На сегодняшний день в мировой научной литературе отсутствуют публикации, посвященные изотопному анализу старых коллекционных вин ввиду их уникальности и очень высокой стоимости. При этом в силу того, что метод изотопной масс-спектрометрии начал использоваться для идентификации вин уже в 1990-е годы, имеется возможность сопоставить полученные нами результаты с аналогичными данными, полученными исследователями 20 и более лет назад [16]. При этом можно отметить, что значения изотопных характеристик элементов этанола вин за этот период не претерпели существенных изменений.

Полученные результаты представляют, на наш взгляд, определенный интерес ввиду того, что позволяют делать выводы о природе используемого сырья при производстве старых коллекционных вин, а также о технологических особенностях их изготовления и об условиях хранения.

4. Выводы

Значения изотопных характеристик углерода, кислорода и водорода этанола виноградного происхождения практически не менялись при выдержке вин последние 40 лет. Данный факт позволяет сделать вывод, что при ежегодном мониторинге в перспективе возможно ожидать лишь незначительные колебания установленных в настоящее время критериальных значений. Это еще раз подтверждает обоснованность использования фиксированных интервалов значений критериев подлинности. Ежегодный мониторинг может выявить лишь локальные изменения, связанные с климатическими изменениями в конкретной местности.

Несмотря на имевшиеся в прошлом столетии разрешения использовать для крепления вин различные спирты растительного происхождения, для производства коллекционных вин применялись, как правило, только зерновые и виноградные спирты, что обеспечивало высокое качество данного вида продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клепайло, А. И. (2006). М. С. *Воронцов и развитие виноградарства и виноделия в Крыму*. Воронцовы и русское дворянство: VIII Крымские Международные Воронцовские чтения. Симферополь: Бизнес-Информ, 2006.
2. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Кузьмина, Е. И., Яланецкий, А. Я., Загоруйко, В. А. (2017) Вариации отношений изотопов углерода этанола вин в зависимости от географического положения виноградников. *Магарач. Виноградарство и виноделие*, 4, 38–40.
3. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Кузьмина, Е. И., Яланецкий, А. Я., Загоруйко, В. А., Шмигельская, Н. А. и др. (2019). Изотопный состав углерода в трофической цепи виноградного растения и получаемых винах. *Пищевая промышленность*, 8, 53–58. https://doi.org/10.24411/0235–2486–2019–10124
4. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Кузьмина, Е. И., Свиридов, Д. А., Лиховской, В. В., Загоруйко, В. А. и др. (2020). Анализ географического места происхождения вин крымского полуострова с использованием изотопной масс-спектрометрии и хемометрии. *Пиво и напитки*, 3, 40–43. https://doi.org/10.24411/2072–9650–2020–10031
5. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Кузьмина, Е. И., Свиридов, Д. А., Яланецкий, А. Я., Загоруйко, В. А. и др. (2022). Анализ влияния метеорологических факторов винодельческих регионов Крыма на значение $\delta^{18}O$ водной компоненты вин с использованием метода изотопной масс-спектрометрии. *Масс-спектрометрия*, 19(3), 190–196. https://doi.org/10.25703/MS.2022.19.16
6. Perini, M., Rolle, L., Franceschi, P., Simoni, M., Torchio, F., Martino, V. D. at al. (2015). H, C, and O stable isotope ratios of Passito wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 63(25), 5851–5857 https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02127
7. Camin, F., Dordevic, N., Wehrens, R., Neteler, M., Delucchi, L., Postma, G. et al. (2015). Climatic and geographical dependence of the H, C and O stable isotope ratios of Italian wine. *Analytica Chimica Acta,* 853, 384–390. https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.09.049
8. Fan, S., Zhong, Q., Gao, H., Wang, D., Li, G., Huang, Z. (2018). Elemental profile and oxygen isotope ratio (δ18O) for verifying the geographical origin of Chinese wines. *Journal of Food and Drug Analysis,* 26(3), 1033–1044. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.12.009
9. Luo, D., Dong, H., Luo, H., Xian, Y., Wan, J., Guo, X. et al. (2015).The application of stable isotope ratio analysis to determine the geographical origin of wheat. *Food Chemistry*, 174, 197–201. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.006
10. Marius, N., Coşofreţ, S. C., Nechita, C. B., Cotea, V., Odăgeriu G. (2012). Consideration on stable isotopic determination in Romanian wines. *Isotopes in Environmental and Health Studies,* 48(2), 25–31.
11. Adami, L., Dutra, S. V., Marcon, A. R., Carnieli, G. J., Roani, C. A., Vanderlinde, R. (2010). Geographic origin of southern Brazilian wines by carbon and oxygen isotope analyses. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 24(20), 2943–2948. https://doi.org/10.1002/rcm.4726
12. European Commission Joint Research Centre. (2014). Certified reference material BCR®– 656 Электронный ресурс: https://www.comar.bam.de/showCertificate/335700 Дата обращения 26.08.2023.
13. International Atomic Energy Agency. (2009). Reference Products for Environment and Trade. Электронный ресурс: https://nucleus.iaea.org/sites/ReferenceMaterials/Pages/VSMOW2.aspx Дата обращения 26.08.2023.
14. The U. S. Geological Survey. (2014). Lake Louise Water (USGS47): A new isotopic reference water for stable hydrogen and oxygen isotope measurements. Электронный ресурс: https://www.usgs.gov/publications/lake-louise-water-usgs47-new-isotopic-reference-water-stable-hydrogen-and-oxygen Дата обращения 26.08.2023.
15. International Atomic Energy Agency. (2009). Reference Products for Environment and Trade.Электронный ресурс: https://nucleus.iaea.org/sites/ReferenceMaterials/Pages/SLAP2.aspx Дата обращения 26.08.2023.
16. Bréas, O., Reniero, F., Serrini, G., Martin, G.J., Rossmann, A. (1994). Isotope ratio mass spectrometry: Analysis of wines from different European countries. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 8, 967–970. http://doi.org/10.1002/rcm.1290081212

REFERENCES

1. Klepailo, A. I. (2006). M. S. *Vorontsov and the development of viticulture and winemaking in the Crimea*. The Vorontsov Family and the Russian nobility: VIII Crimean International Vorontsov Readings. Simferopol: Bizness-Inform. (In Russian)
2. Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., Kuzmina, E. I., Yalanetsky, A. Ya., Zagoruiko, V. A. (2017). Ratio variations of ethanol carbon isotopes in wines based on vineyard geographical location. *Magarach. Viticulture and Winemaking*, 4, 38–40. (In Russian)
3. Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., Kuzmina, E. I., Yalanetsky, A. Ya., Zagoruiko, V. A., Shmigelskaya, N. A. et al. (2019). Carbon isotopic composition in the trophic chain of grape plant and the obtained wines. *Food Industry*, 8, 53–58. https://doi.org/10.24411/0235–2486–2019–10124 (In Russian)
4. Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., Kuzmina, E. I., Sviridov, D. A., Likhovskoy, V. V., Zagoruiko, V. A. et al. (2020). Geographical place of origin analysis of the Crimean peninsula wine with the use of isotope mass spectrometry and chemometry. *Beer and Beverages*, 3, 40–43. https://doi.org/10.24411/2072–9650–2020–10031 (In Russian)
5. Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., Kuzmina, E. I., Sviridov, D. A., Yalanetsky, A. Ya., Zagoruiko, V. A. et al. (2022). Analysis of the influence of meteorological factors of the wine-growing regions of the Crimea on the value of $\delta^{18}O$ of the water component of wines using the method of isotope mass spectrometry. *Mass-Spectrometria*, 19(3), 190–196. https://doi.org/10.25703/MS.2022.19.16 (In Russian)
6. Perini, M., Rolle, L., Franceschi, P., Simoni, M., Torchio, F., Martino, V. D. at al. (2015). H, C, and O stable isotope ratios of Passito wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 63(25), 5851–5857 https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02127
7. Camin, F., Dordevic, N., Wehrens, R., Neteler, M., Delucchi, L., Postma, G. et al. (2015). Climatic and geographical dependence of the H, C and O stable isotope ratios of Italian wine. *Analytica Chimica Acta,* 853, 384–390. https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.09.049
8. Fan, S., Zhong, Q., Gao, H., Wang, D., Li, G., Huang, Z. (2018). Elemental profile and oxygen isotope ratio (δ18O) for verifying the geographical origin of Chinese wines. *Journal of Food and Drug Analysis,* 26(3), 1033–1044. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.12.009
9. Luo, D., Dong, H., Luo, H., Xian, Y., Wan, J., Guo, X. et al. (2015).The application of stable isotope ratio analysis to determine the geographical origin of wheat. *Food Chemistry*, 174, 197–201. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.006
10. Marius, N., Coşofreţ, S. C., Nechita, C. B., Cotea, V., Odăgeriu G. (2012). Consideration on stable isotopic determination in Romanian wines. *Isotopes in Environmental and Health Studies,* 48(2), 25–31.
11. Adami, L., Dutra, S. V., Marcon, A. R., Carnieli, G. J., Roani, C. A., Vanderlinde, R. (2010). Geographic origin of southern Brazilian wines by carbon and oxygen isotope analyses. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 24(20), 2943–2948. https://doi.org/10.1002/rcm.4726
12. European Commission Joint Research Centre. (2014). Certified reference material BCR®– 656. Retrieved from https://www.comar.bam.de/showCertificate/335700 Accessed August 26, 2023.
13. International Atomic Energy Agency. (2009). Reference Products for Environment and Trade. Retrieved from https://nucleus.iaea.org/sites/ReferenceMaterials/Pages/VSMOW2.aspx Accessed August 26,2023.
14. The U. S. Geological Survey. (2014). Lake Louise Water (USGS47): A new isotopic reference water for stable hydrogen and oxygen isotope measurements. Retrieved from https://www.usgs.gov/publications/lake-louise-water-usgs47-new-isotopic-reference-water-stable-hydrogen-and-oxygen Accessed August 26, 2023.
15. International Atomic Energy Agency. (2009). Reference Products for Environment and Trade. Retrieved from https://nucleus.iaea.org/sites/ReferenceMaterials/Pages/SLAP2.aspx Accessed August 26,2023.
16. Bréas, O., Reniero, F., Serrini, G., Martin, G. J., Rossmann, A. (1994). Isotope ratio mass spectrometry: Analysis of wines from different European countries. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 8, 967–970. https://doi.org/10.1002/rcm.1290081212

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	**Affiliation**
Оганесянц Лев Арсенович — доктор технических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7–499–246–67–69 E-mail: vniipbivp@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8195–4292	**Lev A. Oganesyants**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Supervisor, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., Moscow, 119021, Russia Tel.: +7–499–246–67–69 E-mail: vniipbivp@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8195–4292
Панасюк Александр Львович — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7–499–246–76–38 E-mail: alpanasyuk@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–5502–7951	A**lexander L. Panasyuk**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., Moscow, 119021, Russia Tel.: +7–499–246–76–38 E-mail: alpanasyuk@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–5502–7951
Кузьмина Елена Ивановна — кандидат технических наук, заведующая отделом технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7–499–246–76–38 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–7623–440X	**Elena I. Kuzmina**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Grape and Fruit Wine Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., Moscow, 119021, Russia Tel.: +7–499–246–76–38 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–7623–440X
Свиридов Дмитрий Александрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7–499–246–63–10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8367–3523 * автор для контактов	**Dmitriy A. Sviridov**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Tchnology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., Moscow, 119021, Russia Tel.: +7–499–246–63–10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0001–8367–3523 * corresponding author
Лиховской Владимир Владимирович — доктор сельскохозяйственных наук, директор, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН 298600, Ялта, ул. Кирова, 31 Тел.: +7–3654–23–40–95 E-mail: lihovskoy@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0003–3879–0485	**Vladimir V. Likhovskoy**, Doctor of Agricultural Sciences, Director, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of the RAS 31, Kirov str., Yalta, 298600, Russia Tel.: +7–3654–23–40–95 E-mail: lihovskoy@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0003–3879–0485
Загоруйко Виктор Афанасьевич — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией коньяка, главный научный сотрудник, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН 298600, Ялта, ул. Кирова, 31 Тел.: +7–3654–23–40–95 E-mail: vikzag51@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1350–7551	**Victor A. Zagoruiko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Cognac Laboratory, Chief Researcher, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of the RAS 31, Kirov str., Yalta, 298600, Russia Tel.: +7–3654–23–40–95 E-mail: vikzag51@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1350–7551
Шмигельская Наталия Александровна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией игристых вин, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН 298600, Ялта, ул. Кирова, 31 Тел.: +7–3654–23–40–95 E-mail: nata-ganaj@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1244–811	**Natalia A. Shmigelskaya**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of the Sparkling Wine Laboratory, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of the RAS 31, Kirov Str., Yalta, 298600, Russia Tel.: +7–3654–23–40–95 E-mail: nata-ganaj@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000–0002–1244–8115

Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.

Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.