

Volume 5, Issue 3, 2022

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
FOOD SYSTEMS

FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
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 28.09.2022.
Дата выхода в свет 30.09.2022.
Тираж 300 экз. Заказ № 426.



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

© ФНЦПС, 2022
© Авторы, 2022

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

Просекоев 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

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 биорганосинтеза» 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 28.09.2022.

Released from press 30.09.2022.

Circulation — 300 copies. Order № 426.



ISSN 2618-9771 (Print)

ISSN 2618-7272 (Online)

DOI-prefix: 10.21323/2618-9771

© FNCPS, 2022

© Authors, 2022

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, Sagami-hara, 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

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, Mytishchi, Moscow region, Russia

Alla A. Kochetkova, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the «Laboratory of food biotechnologies 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. Miroshnikov, 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

Севостьянова Е. М., Соболева О. А., Ковалева И. Л., Грибкова И. Н. БЕЗАЛКОГОЛЬНЫЕ НАПИТКИ. ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ — КРИТЕРИЙ ОБОСНОВАНИЯ СРОКОВ ГОДНОСТИ ПРОДУКЦИИ.	176
Зверев С. В., Политуха О. В. СБАЛАНСИРОВАННЫЙ СОСТАВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КРУП В УСЛОВИЯХ КОНЦЕПЦИИ АДЕКВАТНОГО ПИТАНИЯ	185
Гурский И. А., Ландиховская А. В., Творогова А. А. РАЗМОРОЖЕННЫЕ ПРОДУКТЫ С СОХРАНЕННОЙ МИКРО- И МАКРОСТРУКТУРОЙ	195
Петрунина И. В., Горбунова Н. А. СИСТЕМНЫЕ МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ. ОБЗОР	202
Долганюк В. Ф., Бабич О. О., Сухих С. А., Ульрих Е. В., Каширских Е. В., Андреева А. П. ИССЛЕДОВАНИЕ <i>IN VITRO</i> БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ БИОМАССЫ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ	212
Князева А. С., Вострикова Н. Л., Куликовский А. В., Устьянов Д. А. МЕТОДИКА И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОЙ ДОЛИ ГЛУТАМАТА НАТРИЯ В БИОЛОГИЧЕСКИХ МАТРИЦАХ	223
Орлова О. Н., Дмитриева Л. С., Ерошенко В. И., Кричун Л. В. СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В МЫШЕЧНОЙ И ЖИРОВОЙ ТКАНИ МОЛОДНЯКА ОВЕЦ	232
Dmitriy S. Myagkonosov, Dmitriy V. Abramov, Irina N. Delitskaya, Galina B. Bukcharina EFFECT OF THE RECOMBINANT CHYMOSINS OF DIFFERENT ORIGINS ON THE QUALITY AND SHELF LIFE OF SOFT CHEESES	239
Мистенева С. Ю. ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЦЕЛЬНОГО ЗЕРНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ	249
Бабич О. О., Ульрих Е. В., Ларина В. В., Бахтиярова А. Х. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЭКСТРАКТОВ <i>GLUCYRRHIZA GLABRA</i> , ВЫРАЩЕННОЙ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ, И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ.	261
Новикова М. В., Виролайн К. Э., Нефедов А. Д., Успенская М. В. РН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЪЕДОБНЫЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ БИОКОМПОЗИТА КАЗЕИНАТ НАТРИЯ/АГАР-АГАР	271

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-176-184>

Поступила 08.03.2022

Поступила после рецензирования 23.06.2022

Принята в печать 06.07.2022

© Севостьянова Е. М., Соболева О. А., Ковалева И. Л., Грибкова И. Н., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

БЕЗАЛКОГОЛЬНЫЕ НАПИТКИ. ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ — КРИТЕРИЙ ОБОСНОВАНИЯ СРОКОВ ГОДНОСТИ ПРОДУКЦИИ

Севостьянова Е. М., Соболева О. А., Ковалева И. Л., Грибкова* И. Н.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

срок годности, условия хранения, ускоренное старение, экспресс-метод, безалкогольные напитки

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается актуальность разработки методологических подходов к методу ускоренного старения безалкогольной продукции на рынке. Приведены принципы выбора контролируемых показателей, основным образом влияющих на качество готовой продукции, и рассмотрен метод обработки образцов, позволяющий смоделировать условия порчи продукции. Исследования позволили установить наиболее важные критерии (содержание ацетальдегида, трансформация сахарозы, концентрация CO₂, органолептические показатели), позволяющие прогнозировать сроки годности безалкогольной продукции экспресс-методами. Проведена сравнительная оценка качества и безопасности безалкогольных напитков в условиях «ускоренного» и «естественного» старения (в течение срока годности с учетом коэффициента резерва) по выбранным критериям. Разработаны критериальные параметры для дегустационной оценки безалкогольной продукции, позволяющие наиболее точно оценить оттеночные дескрипторы продукции. Показано, что циклическое воздействие температурных режимов (тепло 50 °C / холод 6 °C) в течение времени экспозиции 30 суток позволяет смоделировать хранение безалкогольного напитка на протяжении срока годности 12 месяцев в условиях естественного старения. В процессе проведенной работы сроки годности подтверждены для исследованных безалкогольных напитков на растительном сырье и установлены для напитков на ароматизаторах.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках выполнения исследований по государственному заданию FNEN-2019-0042 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН.

Received 08.03.2022

Accepted in revised 23.06.2022

Accepted for publication 06.07.2022

© Sevostyanova E. M., Soboleva O. A., Kovaleva I. L., Gribkova I. N., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

SOFT DRINKS. ORGANOLEPTIC ANALYSIS — A CRITERION FOR SUBSTANTIATION OF EXPIRY DATES OF PRODUCTS

Elena M. Sevostyanova, Olga A. Soboleva, Irina L. Kovaleva, Irina N. Gribkova*

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

KEY WORDS:

shelf life, storage conditions, accelerated aging, express method, soft drinks

ABSTRACT

The paper considers the topicality of the development of methodological approaches to the method for accelerated aging of soft drinks on the market. Selection principles for the controlled indicators that essentially influence finished product quality are presented and the method for sample processing that allows modeling conditions of product spoilage is examined. The investigations enabled establishing the most important criteria (acetaldehyde content, sucrose transformation, CO₂ concentration, organoleptic indicators) that allow predicting expiry dates of soft drinks by express methods. The comparative assessment of quality and safety of soft drinks in the conditions of “accelerated” and “natural” aging (over the shelf life with regard to the reserve ratio) by the selected criteria was carried out. The criteria parameters for tasting assessment of soft drinks that allow more correct assessment of nuance descriptors of a product were developed. It is shown that cyclic impact of temperature regimes (warmth 50 °C / cold 6 °C) during the exposure time of 30 days enables modeling soft drink storage over the shelf-life of 12 months in the conditions of natural aging. In this study, the expiry date was confirmed for the studied soft drinks based on plant raw materials and was established for drinks based on flavoring agents.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-2019-0042 of the state assignment of the V. M. Gorbakov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Севостьянова, Е. М., Соболева, О. А., Ковалева, И. Л., Грибкова, И. Н. (2022). Безалкогольные напитки. Органолептический анализ — критерий обоснования сроков годности продукции. *Пищевые системы*, 5(3), 176-184. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-176-184>.

FOR CITATION: Sevostyanova, E. M., Soboleva, O. A., Kovaleva, I. L., Gribkova, I. N. (2022). Soft drinks. Organoleptic analysis — a criterion for substantiation of expiry dates of products. *Food Systems*, 5(3), 176-184. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-176-184>.

1. Введение

Согласно требований Технического регламента ТР ТС 021/2011¹, пищевая продукция в том числе безалкогольные напитки, находящаяся в обращении на таможенной территории Таможенного союза в течение установленного срока годности, должна быть безопасной. Стандартные сроки годности безалкогольных напитков — от 6 до 12 месяцев, вместе с тем в последнее время на российском рынке стали появляться напитки со сроком годности до 24 месяцев. Обновление сроков годности и температурных условий хранения безалкогольных напитков с таким длительным сроком годности являются приоритетной задачей для промышленности.

Ухудшение качества напитков может быть выражено количественным изменением одного или нескольких показателей, например, органолептических (появление постороннего привкуса), потеря прозрачности, изменение вкуса) или физико-химических показателей (сухих веществ, кислотности, цвета, редуцирующих веществ и т. д.) [1,2].

Прогнозирование сроков годности безалкогольных напитков может быть проведено с учетом ряда факторов.

К первой группе факторов относят оценку условий хранения напитков: воздействие материалов упаковки и укупорки, температуры, света, давления, влажности воздуха и т. п. [3]. Известно исследование [4], в котором рассматривались основные параметры, влияющие на извлечение сурьмы из ПЭТФ-бутылок в питьевую бутилированную воду (длительность, температура и уровень ультрафиолета при хранении). Результаты показали, что наиболее значимыми факторами воздействия были температура (выше 60 °С) и длительность хранения (более 14 дней). Было проведено исследование влияния температуры хранения на качественные показатели топинамбура [5], которое показало снижение содержания редуцирующих веществ, аскорбиновой кислоты и инулина в условиях температур на уровне (20 ± 2) °С в течение 3 месяцев, причем температурный фактор был наиболее влиятелен. Данный факт был подтвержден и при исследовании условий хранения алкогольных дистиллятов: в процессе хранения продукции при температуре минус 18 °С наблюдались нарушения прозрачности дистиллятов в присутствии 40% (об./об.) спирта [6].

Вторая группа факторов оценивает биохимические процессы окисления, термораспада или синтеза, возникающие при хранении, включая химические, физические, и микробиологические, например, процесс выдержки дистиллятов в контакте с древесиной [7]. Данная группа методов распространяется на продукцию, содержащую липидные соединения, окисление которых, в зависимости от условий хранения, проводил Verardo [8]. Были проанализированы окислительные характеристики трех различных яичных копродуктов и спагетти на их основе относительно содержания холестерина и воздействия температуры, упаковки и света. Исследование выявило преобладающее влияние ультрафиолета на окисление холестеринных фракций продуктов: спагетти, хранящиеся в темноте, показали содержание оксидов холестерина в 1,5–2,0 раза ниже по сравнению с уровнями оксидов холестерина спагетти в типичной упаковке. К этой же группе факторов можно отнести исследование экстрактов фенольных соединений относительно влияния условий хранения [9]. Так, фенольные соединения (гидроксиаваикол, эвгенол, изоэвгенол, аллилпирокатахин 3,4-диацетат), общий

уровень фенольных соединений и антиоксидантная активность экстрактов исследовались при различных условиях хранения (при температуре от 5 °С до 25 °С), в присутствии и отсутствии освещения, за период шесть месяцев. Было показано, что наличие ультрафиолета и температуры более 5 °С значительно влияли на общий уровень фенольных соединений и антиоксидантную активность в течение полугода. Индивидуальные соединения реагировали на условия хранения по-разному: гидроксифлавонол был стабилен, эвгенол и изоэвгенол проявляли умеренную стабильность при низкой температуре (5 °С) и в темноте, а 4-аллил-1,2-диацетоксифлавонол полностью окислился, что зависело от характерной структуры соединения. Показано, что продукцию, содержащую высокие концентрации редуцирующих соединений, можно контролировать относительно условий хранения по уровню гидроксиметилфурфурола, который образуется из сахаров в результате неферментативных реакций [10].

К третьей группе факторов относят оценку органолептических показателей, определяющих изменение внешнего вида напитков — вкуса, аромата, цвета и др. параметров [11]. Существуют исследования [12], наглядно подтверждающие, что органолептическая оценка качества продукции весьма эффективна при оценке условий хранения и факторов влияния в условиях хранения наряду с приборными методами исследования, поскольку органолептические и физико-химические показатели связаны. Ма и соавторы подтверждали важную функцию температуры при оценке сроков хранения напитков [12]. Другие исследователи [13] вычислили уравнения линейной регрессии между органолептическими показателями оценки качества продукции и уровнем микроорганизмов, содержащихся в продукции, и временем выдержки.

Испытания по изменению качественных показателей и безопасности продуктов в процессе их хранения при температурах, нормируемых соответствующими документами, как правило, самые достоверные. Однако это длительный процесс, так как срок хранения (годности) многих продуктов установлен от нескольких дней до 1–3 лет [14].

Разработка экспресс-методов прогнозирования сроков годности безалкогольной продукции является актуальной научной задачей, требующей новых подходов к оценке сроков и условий хранения продукции.

Принципы воздействия факторов внешних воздействий при хранении на структуру напитков основаны на понимании органических или других соединений, которые могут трансформировать свою структуру, что скажется на количественном содержании контролируемых показателей. Так, например, фруктовые соки подвергались физико-химическому анализу в течение хранения при температурах 25 ± 2 °С и 4 °С с целью инициирования терминальных процессов, влияющих на уровень pH, на количество редуцирующих сахаров и витамина С в составе продукта [15]. Другими авторами [16] применялась температура 50 °С для оценки срока годности сокодержавных напитков по содержанию антоцианов, оценке уровня pH, а также по органолептическим показателям.

Исследователи [17] отслеживали качественные изменения в молочных напитках, содержащих кофе, на основании контроля уровня липидных перекисей, кофеина, содержания микроорганизмов и сенсорной оценки, инстантированных при температуре 10–30 °С в течение 8 недель. Безусловно, эмульсионная структура подобных напитков с включением фенольных соединений кофе подвержена термическому сдвигу вследствие перекисного окисления, и температура хранения должна быть невысокой для получения адекватных условий модели ускоренного старения. Этот метод еще называют ASLT.

¹ Технический регламент Таможенного ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». (Утвержден решением Совета Евразийской экономической комиссии 9 декабря 2011 г, № 880. Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/902320560>. Дата обращения 24 февраля, 2022.

Таблица 1. Состав образцов
Table 1. Composition of the samples

№ п/п	Шифр образца	Материал/объем упаковки, дм³	Срок годности, мес.	Состав напитка, кроме подготовленной воды
группа — на пряно-ароматическом растительном сырье, сильногазированный				
1	1	стекло/1,0	12	сахар, настои растительные (лимонный, левзеи), регулятор кислотности кислота лимонная, соль, консервант бензоат натрия, сахарный колер
2		ПЭТ/2,0		
3	2	стекло/1,0	12	сахар, настои растительные (лимонный, апельсиновый, мандариновый), регулятор кислотности кислота лимонная, консервант бензоат натрия, сахарный колер, ароматизатор
4		ПЭТ/2,0		
группа — на ароматизаторах, среднегазированный				
5	3	ПЭТ/0,5	6	сахар, регулятор кислотности лимонная кислота, ароматизатор пищевой, краситель, стабилизатор, консервант бензоат натрия
6	4	ПЭТ/0,5	6	сахар, регулятор кислотности лимонная кислота, ароматизатор пищевой, краситель, стабилизатор, консервант бензоат натрия
7	5	ПЭТ/0,5	6	сахар, регулятор кислотности лимонная кислота, ароматизатор пищевой, краситель, стабилизатор, консервант бензоат натрия

Методика ASLT основана на инстантировании продукции при разных температурах до достижения невозвратного состояния потери биохимического равновесия с периодическим измерением выбранных показателей, характеризующих качество продукции, и с последующим вычислением сроков хранения по уравнению Аррениуса, которое устанавливает спрогнозированный срок годности образцов [18].

Упоминалась актуальность органолептической оценки продуктов питания с помощью характеристик — так называемых описательных дескрипторов, способных оценить нарушение потребительских свойств оцениваемой продукции. Дескрипторно-профильный метод способствует выявлению различий с помощью идентификации и оценки наиболее значимых дескрипторов. Так, в работе [19] были установлены дескрипторные характеристики пива, основанные на присутствии характерных органических соединений, отвечающих за соответствующие пивоваренной продукции вкус и аромат.

Процедура установления профильных дескрипторов основана на выявлении перечня наиболее приемлемых описательных характеристик, главным образом характеризующих конкретный продукт, в результате чего формируется визуальная модель потребительских предпочтений исследуемого продукта. Далее определяются интенсивность и значимость каждого дескриптора для гармонизации вкусопригодности продукта, строятся профилограммы для продукции, отражающие ее качественное состояние. По мере выдерживания и испытания продукции проходит дегустация образцов, результаты которой оцениваются по отобранному дескрипторам; определяются сроки, характеризующие момент потери равновесного состояния матрицы продукта [20].

Необходимо отметить, что обоснование сроков годности безалкогольных напитков, особенно методами «ускоренного старения», то есть в условиях воздействия стрессовых факторов на органические соединения напитков за более короткое время, требует более тщательного подхода к органолептической оценке продукции.

Целью исследования было определение оценочных критериев для разработки «ускоренных» методов старения безалкогольных напитков на основе органолептической (сенсорной) оценки и физико-химического анализа показателей.

2. Материалы и методы

Объектами исследования являлись напитки безалкогольные на натуральной сахарозе различного состава, упакованные в потребительскую упаковку из полиэтилентерефталата и стекла в количестве 7 образцов (данные Таблицы 1).

Решение задач исследования достигалось выдерживанием образцов продукции при следующих температурных режимах: режим «естественного старения» характеризовался выдержкой при $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение срока годности с учетом коэффициента резерва (1,15) — шифр образца «ЕС»; режим «ускоренного старения» выражался в циклическом режиме выдержки продукции $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ / $(6 \pm 2)^\circ\text{C}$ при длительности цикла 48 часов и времени экспозиции 30 суток — шифр образца «УС». Контрольные образцы — шифр «К» — выдерживались при $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 30 суток.

Физико-химические показатели продукции определялись принятыми в отрасли методами: определение содержания сухих веществ — по ГОСТ 6687.2–90², определение кислотности — по ГОСТ 6687.4–86³, определение содержания ацетальдегида — по [21], определение содержания сахаров — по [22], определение содержания CO_2 — по ГОСТ 32037–2013⁴.

Органолептические показатели безалкогольных напитков оценивались по 25-балльной системе для газированных напитков и по 19-балльной системе для негазированных напитков, согласно характеристикам, представленным в Таблицах 2 и 3; дегустация проводилась закрытым методом. В дегустации принимали участие 5 профессиональных дегустаторов, чьи баллы суммировались с последующим вычислением среднеарифметического значения для оценки качества продукции.

При получении образцом неудовлетворительной оценки он снимается с дегустации как несоответствующий нормативным показателям.

² ГОСТ 6687.2–90 «Продукция безалкогольной промышленности. Методы определения сухих веществ». — М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. — 14 с.

³ ГОСТ 6687.4–86 «Напитки безалкогольные, квасы и сиропы. Метод определения кислотности». — М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. — 7 с.

⁴ ГОСТ 32037–2013 «Напитки безалкогольные и слабоалкогольные, квасы. Метод определения двуокиси углерода». — М.: ИПК Издательство стандартов, 2012. — 7 с.

Таблица 2. Органолептическая оценка безалкогольных напитков
Table 2. Organoleptic evaluation of soft drinks

Характеристика	Органолептическая характеристика напитков	Балльная оценка
Прозрачность (для прозрачных напитков), опалесценция (для напитков на растительном сырье), цвет, внешний вид	Прозрачный с блеском или опалесцирующий (для напитков на растительном сырье), цвет, внешний вид характерный для данного вида напитка	7 (отлично)
	Прозрачный без блеска или опалесцирующий (для напитков на растительном сырье), цвет, внешний вид: имеют незначительные отклонения от рецептурных показателей	6 (хорошо)
	Слабая опалесценция для прозрачных напитков и сильная опалесценция для напитков на растительном сырье, менее выраженный цвет (не предусмотренные рецептурой)	4 (удовл.*)
	Несоответствие показателей нормам	1 (неуд.**)
Вкус и аромат	Характерный, полный вкус и сильно выраженный аромат, свойственный данному напитку	12 (отлично)
	Хороший вкус и аромат, свойственный данному напитку	11 (хорошо)
	Недостаточно полно выраженный вкус и слабый аромат, но свойственный для напитка	10 (удовл.)
	Плохо выраженный вкус и посторонний тон во вкусе и аромате, не свойственный данному напитку	6 (неуд.)
Насыщенность двуокисью углерода	Обильное и продолжительное выделение двуокиси углерода после налива в бокал, ощущение на языке легкого покалывания	6 (отлично)
	Обильное, но непродолжительное выделение двуокиси углерода после налива в бокал, слабые ощущения покалывания на языке	6 (хорошо)
	Очень быстрое выделение двуокиси углерода, очень слабо ощущается во вкусе двуокись углерода	5 (удовл.)
	Небольшое и очень слабое выделение двуокиси углерода	2 (неуд.)

* удовлетворительно, ** неудовлетворительно

Эксперименты проводились в 3 ÷ 4 повторностях с доверительной вероятностью $p \geq 95\%$, статистические данные обрабатывались программой Statistica (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA, 2006).

Таблица 3. Общая балльная оценка качества безалкогольных напитков

Table 3. Total score of soft drink quality

Оценка	Общий балл оценки качества напитков газированных
«Отлично»	от 23 до 25 вкл.
«Хорошо»	от 19 до 23 вкл.
«Удовлетворительно»	от 15 до 19 вкл.
«Неудовлетворительно»	менее 15

3. Результаты и обсуждение

3.1. Исследование динамики физико-химических показателей напитков в результате различных вариантов выдержки

Одними из важных показателей безалкогольных напитков, характеризующих качество, являются содержание сухих веществ и кислотность. Поэтому с точки зрения влияния температурных режимов эти показатели контролировали, данные представлены в Таблице 4.

Таблица 4. Изменение физико-химических показателей безалкогольных напитков в условиях выбранных режимов обработки

Table 4. Changes in the physico-chemical indicators of soft drinks in the conditions of the selected processing regimes

Образец	Содержание в образце в условиях обработки					
	массовой доли сухих веществ, %			кислотности, см ³ 1М NaOH/дм ³		
	К	УС	ЕС	К	УС	ЕС
1	9,1±0,1	9,3±0,1	9,2±0,1	2,5±0,3	2,6±0,3	2,5±0,3
2	8,8±0,1	9,0±0,1	9,2±0,1	2,5±0,3	2,5±0,3	2,5±0,3
3	10,8±0,1	10,9±0,1	10,9±0,1	1,6±0,3	1,6±0,3	1,6±0,3
4	10,6±0,1	10,8±0,1	10,9±0,1	1,7±0,3	1,7±0,3	1,7±0,3
5	10,5±0,1	10,4±0,1	10,4±0,1	2,0±0,3	2,0±0,3	2,0±0,3
6	9,6±0,1	9,5±0,1	9,5±0,1	2,1±0,3	2,0±0,3	2,0±0,3
7	11,6±0,1	11,5±0,1	11,5±0,1	2,6±0,3	2,4±0,3	2,3±0,3

В результате изучения стабильности физико-химических показателей (данные Таблицы 4) было определено, что статистически значимых изменений контролируемых показателей в процессе эксперимента не установлено, поскольку колебание параметров находилось в пределах погрешности определения. Величины показателей образцов в условиях «ускоренного старения» и «естественного старения» были сопоставимы независимо от материала упаковки.

Значимым параметром контроля стабильности напитков, который контролировали в условиях режимов обработки, являлось содержание ацетальдегида, и изменение его количественного содержания представлено в Таблице 5.

Таблица 5. Изменение концентрации ацетальдегида и углекислого газа безалкогольных напитков в условиях выбранных режимов обработки

Table 5. Changes in the acetaldehyde and carbon dioxide concentrations in soft drinks in the conditions of the selected processing regimes

Образец	Содержание в образцах					
	ацетальдегида, мг/дм ³			углекислого газа, %		
	К	УС	ЕС	К	УС	ЕС
1	0,6±0,06	0,5±0,05	0,6±0,06	0,48	0,46	0,48
2	0,4±0,04	0,9±0,09	0,8±0,08	0,46	0,28	0,26
3	0,5±0,05	0,5±0,05	0,6±0,06	0,46	0,40	0,45
4	0,6±0,06	0,8±0,08	0,7±0,07	0,42	0,27	0,27
5	0,5±0,05	0,9±0,09	0,8±0,08	0,42	0,35	0,34
6	0,4±0,04	0,7±0,07	0,7±0,07	0,39	0,33	0,34
7	0,6±0,06	0,9±0,09	0,8±0,08	0,42	0,35	0,35

Анализ данных по содержанию ацетальдегида (данные Таблицы 5) показал корреляцию с видом упаковки. В безалкогольных напитках, упакованных в ПЭТ упаковку, наблюдался прирост ацетальдегида за счет его миграции из материала упаковки как при экспресс-методе, так и в условиях хранения в течение срока годности с учетом коэффициента резерва. Было показано, что количество мигрирующего из упаковки ацетальдегида в условиях экспресс-метода превысило контрольное значение в 1,3–2,25 раза, а в условиях естественного старения — 1,2–2 раза. В этой связи исследователями отмечается, что увеличение концентрации ацетальдегида коррелирует с содержанием CO₂, который

увеличивает растворимость ацетальдегида в воде, а также с параметрами бутылки [23].

Отметим, что уровень ацетальдегида в испытуемых образцах на момент анализа значительно ниже допустимого предела (6 мг/дм³). Стекланный материал упаковки значимо не влиял на концентрацию ацетальдегида (Таблица 5).

В отношении мониторинга содержания CO₂ установлено, что материал упаковки влияет на изменение концентрации растворенной углекислоты: стеклянная упаковка позволяла в достаточной мере сохранить уровень углекислоты к концу эксперимента и была сопоставима с концентрацией углекислоты в напитке, хранящемся в условиях «естественного старения». Более того, массовая концентрация CO₂ соответствовала требованиям нормативных документов для сильногазированных напитков 0,4% в обоих случаях (Таблица 5). Полиэтиленфталатная упаковка способствовала снижению уровня CO₂, и в образцах при окончании эксперимента она не соответствовала требованиям, предъявляемым к своей группе напитков, а снизила показатели до уровня слабогазированных напитков.

Значимым показателем для мониторинга качества образцов безалкогольных напитков являлись, на наш взгляд, сахара. Изменение концентрации углеводов представлено в Таблице 6.

Таблица 6. Изменение концентрации сахаров безалкогольных напитков в условиях выбранных режимов обработки

Table 6. Changes in the sugar concentration in soft drinks in the conditions of the selected processing regimes

Сахара	Массовая концентрация, г/дм ³ , в образцах, в зависимости от материала упаковки					
	Контроль		УС		ЕС	
	стекло	ПЭТ	стекло	ПЭТ	стекло	ПЭТ
образец № 1						
фруктоза	22,7±0,2	24,2±0,2	43,2±0,4	42,8±0,4	44,0±0,4	43,5±0,4
глюкоза	20,5±0,2	19,4±0,2	46,5±0,5	46,7±0,5	45,3±0,5	46,0±0,5
сахароза	46,0±0,5	45,6±0,4	н.о.*	н.о.	н.о.	н.о.
образец № 2						
фруктоза	20,7±0,2	20,4±0,2	50,6±0,5	50,7±0,5	51,1±0,5	50,2±0,5
глюкоза	19,3±0,2	18,9±0,2	52,7±0,5	52,5±0,5	52,4±0,5	53,3±0,5
сахароза	63,2±0,6	64,3±0,6	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.

* н.о. — не обнаруживается

Изучение динамики гидролиза сахаров в процессе эксперимента по «ускоренному» старению показало (Таблица 6), что на 30 сутки в образцах происходило разложение сахарозы, о чем свидетельствует увеличение концентрации фруктозы и глюкозы, так же, как в образцах «естественного старения», но в течение 14 месяцев выдержки.

Интересно отметить, что сочетание температур обработки (50 °C / 6 °C) действует на гидролиз сахарозы в течение 30 сут так же, как температура (25 °C) в течение 14 месяцев хранения. Исследователи отмечают, что при температуре среды не выше 65 °C в присутствии кислоты образования продуктов разложения сахарозы не происходит и данная молекула мягко гидролизуется до фруктозы и глюкозы [24]. Также на гидролиз сахарозы большое влияние оказывает природа кислоты [25], однако типичный состав напитков не позволил нам установить закономерности в этой связи. Природа материала не оказывала существенного влияния на характер разложения сахарозы.

3.2. Исследование динамики органолептических показателей напитков при различных вариантах выдержки

Проводилась органолептическая оценка безалкогольных напитков, ее результаты приведены в Таблице 7.

Таблица 7. Органолептическая оценка образцов безалкогольных напитков в условии выбранных режимов обработки

Table 7. Organoleptic evaluation of soft drink samples in the conditions of the selected processing regimes

Шифр образца	Норма, баллы	Органолептическая характеристика (баллы)		
		К	УС	ЕС
1	«отлично» — 23–25 «хорошо» — 19–23 «удовлетворительно» — 15–19	25,0	17,4	18,2
2		25,0	16,2	16,3
3		25,0	17,5	18,0
4		25,0	16,8	17,0
5		23,2	19,4	19,5
6		23,7	20,2	20,5
7		23,2	20,5	21,0

Контрольные образцы газированных напитков (контроль) на натуральном сахаре и с применением ароматизаторов характеризовались общей балльной оценкой «отлично» (данные Таблицы 7). Однако в ходе экспресс-тестирования к 30 суткам испытаний во всех образцах безалкогольной продукции наблюдалось ухудшение органолептических характеристик по сравнению с контролем; вместе с тем напитки на растительном сырье были оценены дегустаторами на оценку «удовлетворительно», а напитки на ароматизаторах — «хорошо». Результаты ускоренного и естественного старения безалкогольных напитков были сопоставимы. Ухудшение органолептических показателей коррелировало со снижением уровня CO₂ (Таблица 5).

Разработка критериальной системы оценки характера и интенсивности изменения аромата и вкуса позволила оценить качество и составить профилограммы исследуемых образцов с помощью Таблицы 8, где представлены оценочные дескрипторы.

В соответствии с данными Таблицы 8, на Рисунках 1 и 2 представлены профилограммы для напитков на натуральном сахаре сильногазированных (Рисунок 1), для напитков на ароматизаторах среднегазированных (Рисунок 2).

Графическое изображение органолептической оценки по разработанным критериям (Рисунки 1, 2) наглядно показывает, что в результате хранения на примере образцов № 1 и № 5 снижаются гармоничность, типичность и интенсивность вкуса/аромата, причем эти изменения носят более интенсивный характер в напитке, упакованном в ПЭТ тару, что коррелирует с наибольшим снижением содержания CO₂ и появлением слабого постороннего привкуса.

Анализ вкусо-ароматического профиля напитков на ароматизаторах позволил установить, что для данного вида продукции срок хранения можно разрешить до 12 месяцев (с учетом коэффициента резерва) при температуре хранения (25±3) °C, что подтверждается проведенными исследованиями показателей качества и безопасности безалкогольной продукции: образцы сохраняли гармоничность, типичность вкуса и аромата; интенсивность вкуса/аромата были умеренными; насыщенность CO₂ несколько снизилась, но соответствовала требованиям ГОСТ 28188–2014⁵, предъявляемым к среднегазированным напиткам.

⁵ ГОСТ 28188–2014 «Напитки безалкогольные. Общие технические условия». — М.: ИПК Издательство стандартов, 2019. — 10 с.

Таблица 8. Оценочная шкала дескрипторов вкуса и аромата

Table 8. Rating scale for taste and aroma descriptors

Дескриптор	Вербальная характеристика вкуса и аромата	Оценочный балл
гармоничность	Вкус и аромат	
	гармоничный	4–5
	гармоничный с незначительным превалированием одного из компонентов	3–4
	негармоничный	2–3
типичность	разлаженный	менее 2
	типичный, ярко выраженный	4–5
	типичный, менее выраженный	3–4
	типичный, слабо выраженный	2–3
интенсивность	нетипичный, несоответствующий	менее 2
	яркий	4–5
	умеренный	3–4
	слабый	2–3
посторонний тон*	весьма слабый	менее 2
	сильно выраженный	4–5
	не сильно выраженный	3–4
	слабо ощутимый	2–3
	полное отсутствие	менее 2
прозрачность	Внешние признаки напитков	
	прозрачность с блеском или легкой опалесценцией (допускается при использовании растительного сырья)	4–5
	прозрачный без блеска или с более выраженной опалесценцией	3–4
	слабая опалесценция для прозрачных напитков и сильная опалесценция для напитков на растительном сырье и напитков с соком	2–3
цвет	несоответствие рецептуре	менее 2
	соответствие конкретному напитку	4–5
	с незначительными отклонениями от рецептуры	3–4
	со значительными отклонениями от рецептуры	2–3
насыщенность CO ₂	несоответствие рецептуре	менее 2
	интенсивное выделение CO ₂ после налива в бокал, яркое ощущение чистой углекислоты в аромате и вкусе, концентрация двуокиси углерода соответствует заявленному	4–5
	с незначительными отклонениями от рецептуры	3–4
	слабые ощущения двуокиси углерода во вкусе и аромате	2–3
	не соответствие заявленным	менее 2

* посторонний тон — отрицательный показатель, характеризующий появление во вкусе или аромате тонов, не характерных для данного вида напитков и используемого в них сырья, а также тонов используемой упаковки (ПЭТ или внутреннего покрытия банки).

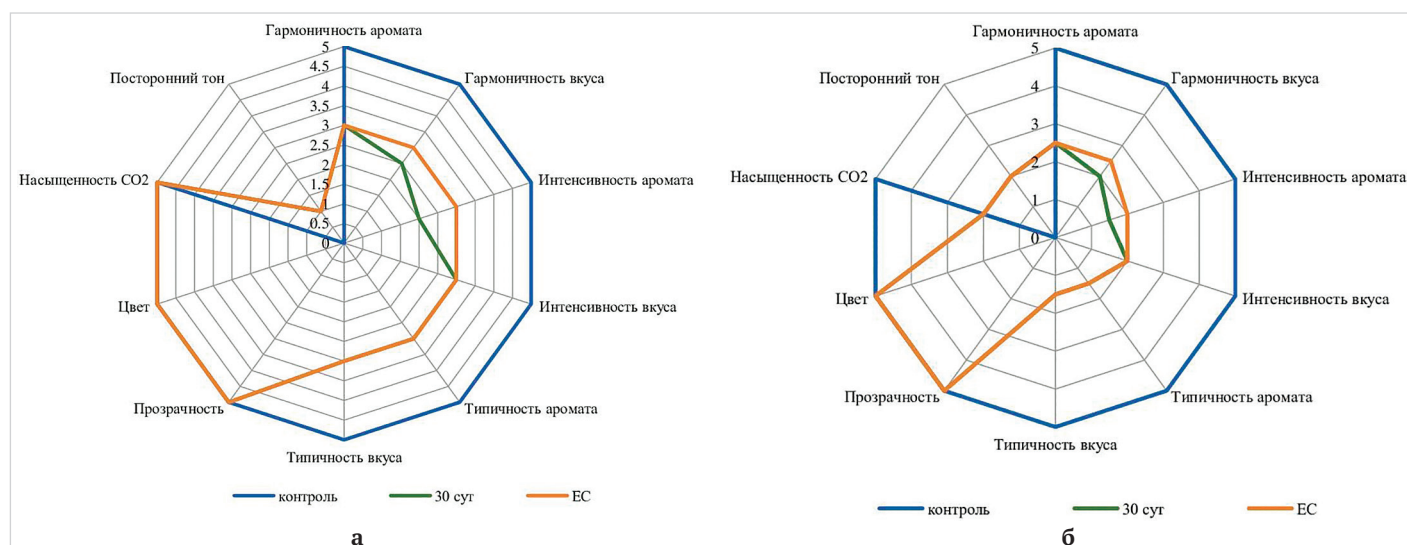
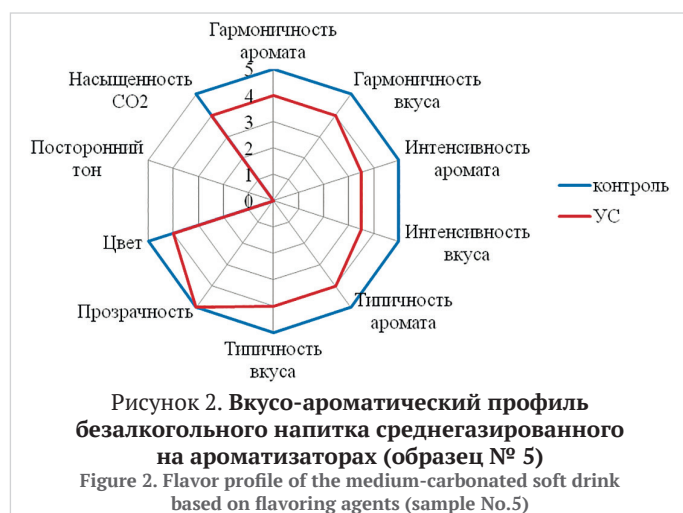


Рисунок 1. Вкусо-ароматический профиль безалкогольного напитка № 1 в стеклянной таре (а) и в ПЭТ таре (б)

Figure 1. Flavor profile of soft drink No.1 in a glass container (a) and in a PET container (b)



4. Выводы

Предварительный литературный анализ выявил интерес и актуальность поиска ускоренных методов определения сроков хранения пищевой продукции, поскольку естественное старение занимает достаточно длительное время. Показано, что температура и время являются критическими критериями для сдвига равновесного состояния органических соединений в структуре продукции, что может быть полезно с точки зрения условий проведения

«ускоренных» методов прогнозирования сроков годности напитков. Установлено, что перечень анализируемых параметров продукции должен состоять из органолептических и физико-химических параметров, характеризующих качество конкретной продукции. Показано, что для безалкогольных напитков объективным показателем подтверждения качества являются органолептические характеристики (вкус, запах и др. параметры) и физико-химические показатели, свидетельствующие об изменении качества продукта в течение срока годности. Наиболее значимым параметром, изменяющимся в зависимости от материала упаковки (ПЭТФ), являлся ацетальдегид, количество которого при ускоренном старении превысило контрольное значение в 2,25 раза, а в условиях «ускоренного» старения — в 2 раза. Редуцирующие соединения также показали свою зависимость от повышенных температур хранения, при которых они снижали свое количество вне зависимости от материала тары. Снижение органолептических показателей в ходе условий «ускоренного» и «естественного» старения были сопоставимы и коррелировали со снижением уровня растворенной углекислоты в объеме продукции. Таким образом, для обоснования сроков годности безалкогольных напитков необходимо применение комплексного анализа, включающего физико-химические, органолептические показатели безопасности (микробиологические показатели и токсичные металлы), подтверждающие соответствие рецептуре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Spence, C. (2021). What is the relationship between the presence of volatile organic compounds in food and drink products and multisensory flavour perception? *Foods*, 10(7), Article 1570. <https://doi.org/10.3390/foods10071570>
- Ковалева, И. Л., Соболева, О. А., Севостьянова, Е. М. (2019). Факторы, определяющие устанавливаемый срок годности безалкогольных напитков. *Пиво и напитки*, 2, 26–29.
- Zarebska, M., Stanek, N., Barabosz, K., Jaskiewicz, A., Kulesza, R., Matejuk, R. al. (2022). Comparison of chemical compounds and their influence on the taste of coffee depending on green beans storage conditions. *Scientific Reports*, 12(1), Article 2674. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06676-9>
- Payán, L., Poyatos, M., Muñoz, L., La Rubia, M.D., Pacheco, R., Ramos, N. (2017). Study of the influence of storage conditions on the quality and migration levels of antimony in polyethylene terephthalate-bottled water. *Food Science and Technology International*, 23(4), 318–327. <https://doi.org/10.1177/1082013217690300>
- Мудрых, Н. М., Семакова, С. А. (2021). Влияние условий хранения на качество топинамбура. *Овощи России*, 1, 121–124. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-121-124>
- 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>
- Bortoletto, A. M., Silvello, G. C., Alcarde, A. R. (2021). Aromatic profiling of flavor active compounds in sugarcane spirits aged in tropical wooden barrels. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24, Article e2019071. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.07119>
- Verardo, V., Pasini, F., Iafelice, G., Messina, M. C., Marconi, E., Caboni, M. F. (2010). Influence of storage conditions on cholesterol oxidation in dried egg pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(6), 3586–3590. <https://doi.org/10.1021/jf904143p>
- Ali, A., Chong, C. H., Mah, S. H., Abdullah, L. C., Choong, T. S. Y., Chua, B. L. (2018). Impact of storage conditions on the stability of predominant phenolic constituents and antioxidant activity of dried piper betle extracts. *Molecules*, 23(2) Article 84. <https://doi.org/10.3390/molecules23020484>
- Shapla, U. M., Solayman, Md., Alam, N., Khalil, Md. I., Gan, S. H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal*, 12(1), Article 35. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0408-3>
- Varivoda, A. A., Temerbaeva, M. V., Uryumtseva, T. I., Gerashchenko, L. A., Svirina, A. G. (2021). *Mathematical modeling of multicomponent beverages with a balanced composition of nutrients*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 677(2), Article 022104. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022104>
- Ma, T., Wang, J., Wang, H., Lan, T., Liu, R., Gao, T. et al. (2020). Is overnight fresh juice drinkable? The shelf life prediction of non-industrial fresh watermelon juice based on the nutritional quality, microbial safety quality, and sensory quality. *Food and Nutrition Research*, 64. <https://doi.org/10.29219/fnr.v64.4327>
- Fogarty, C., Smyth, C., Whyte, P., Brunton, N., Bolton, D. (2019). Sensory and ATP derivative-based indicators for assessing the freshness of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and cod (*Gadus morhua*). *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 58(1), 71–80. <https://doi.org/10.2478/ijaf-2019-0008>
- Ashurst, P. (2016). The Stability and Shelf Life of Fruit Juices and Soft Drinks. Chapter in a book: *The Stability and Shelf Life of Food* (Second Edition), Woodhead Publishing, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00012-5>
- Tiencheu, B., Nji, D. N., Achidi, A. U., Egbe, A. C., Tenyang, N. et al. (2021). Nutritional, sensory, physico-chemical, phytochemical, microbiological and shelf-life studies of natural fruit juice formulated from orange (*Citrus sinensis*), lemon (*Citrus limon*), Honey and Ginger (*Zingiber officinale*). *Heliyon*, 7(6), Article e07177. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07177>
- Khasanov, A., Matveeva, N. (2020). *Determination of the shelf life of a functional beverage by accelerated testing*. E3S Web of Conferences, 164, Article 01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016401003>
- Yoon, J.-W., Ahn, S.-I., Kim, H.-N., Park, J.-H., Park, S.-Y., Kim, J.-H. et al. (2017). Qualitative Characteristics and Determining Shelf-Life of Milk Beverage Product Supplemented with Coffee Extracts. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(2), 305–312. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.2.305>
- Park, J.-H., Kim, J.-K. (2006). Change in chemical components of green powder tea during storage period at 5°C storage temperature. *Korean Journal of Food Preservation*, 13(6), 681–685.
- Bocharova, O., Melnik, I., Hnatovskaya, D., Chub, S. (2017). Using the profile method for evaluation the beer quality. *Food Science and Technology*, 11(1). <https://doi.org/10.15673/fst.v11i1.298>
- Mikulinin, M., Guzikova, N. (2021). Application of the descriptor-profile method in modeling the recipes of a preserved food using sprouted grain and malt extract. *Food Science and Applied Biotechnology*, 4(1), 22–30. <https://doi.org/10.30721/fsab2021.v4.i1.113>
- Jeong, H.-S., Chung, H., Song, S.-H., Kim, C.-I., Lee, J.-G., Kim, Y.-S. (2015). Validation and determination of the contents of acetaldehyde and formaldehyde in foods. *Toxicological Research*, 31(3), 273–278. <https://doi.org/10.5487/TR.2015.31.3.273>
- Debebe, A., Temesgen, S., Redi-Abshire, M., Chandravanshi, B. S., Ele, E. (2018). Improvement in analytical methods for determination of sugars in fermented alcoholic beverages. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2018, Article 4010298. <https://doi.org/10.1155/2018/4010298>

23. Re Depaolini, A., Fattore, E., Bianchi, G., Fanelli, R., Davoli, E. (2020). Acetaldehyde in polyethylene terephthalate (PET) bottled water: Assessment and mitigation of health risk for consumers. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(12), Article 4321. <https://doi.org/10.3390/app10124321>
24. Klasson, K. T., Sturm, M. P., Cole, M. R. (2022). Acid hydrolysis of sucrose in sweet sorghum syrup followed by succinic acid production using a genet-

- ically engineered *Escherichia coli*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 39, Article 102231. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102231>
25. Chambré, D., Iđoiu, C., Szabo, M.-R. (2007). The reaction conditions influence on sucrose acid hydrolysis studied by means of DSC method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 88, 681–686. <https://doi.org/10.1007/s10973-006-8043-y>

REFERENCES

1. Spence, C. (2021). What is the relationship between the presence of volatile organic compounds in food and drink products and multisensory flavour perception? *Foods*, 10(7), Article 1570. <https://doi.org/10.3390/foods10071570>
2. Kovaleva, I. L., Soboleva, O. A., Sevostyanova, E. M. (2019). The factors that determine the established shelf life of soft drinks. *Beer and beverages*, 2, 26–29. (In Russian)
3. Zarebska, M., Stanek, N., Barabosz, K., Jaskiewicz, A., Kulesza, R., Matejuk, R. al. (2022). Comparison of chemical compounds and their influence on the taste of coffee depending on green beans storage conditions. *Scientific Reports*, 12(1), Article 2674. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06676-9>
4. Payán, L., Poyatos, M., Muñoz, L., La Rubia, M. D., Pacheco, R., Ramos, N. (2017). Study of the influence of storage conditions on the quality and migration levels of antimony in polyethylene terephthalate-bottled water. *Food Science and Technology International*, 23(4), 318–327. <https://doi.org/10.1177/1082013217690300>
5. Mudrih, N. M., Semakova, S. A. (2021). Influence of storage conditions on the quality of Jerusalem artichoke. *Vegetable Crops of Russia*, 1, 121–124. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-121-124>. (In Russian)
6. Rózański, 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>
7. Bortoletto, A. M., Silvello, G. C., Alcarde, A. R. (2021). Aromatic profiling of flavor active compounds in sugarcane spirits aged in tropical wooden barrels. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24, Article e2019071. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.07119>
8. Verardo, V., Pasini, F., Iafelice, G., Messina, M.C., Marconi, E., Caboni, M.F. (2010). Influence of storage conditions on cholesterol oxidation in dried egg pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(6), 3586–3590. <https://doi.org/10.1021/jf904143p>
9. Ali, A., Chong, C. H., Mah, S. H., Abdullah, L. C., Choong, T. S. Y., Chua, B. L. (2018). Impact of storage conditions on the stability of predominant phenolic constituents and antioxidant activity of dried piper betle extracts. *Molecules*, 23(2) Article 84. <https://doi.org/10.3390/molecules23020484>
10. Shapla, U. M., Solayman, Md., Alam, N., Khalil, Md. I., Gan, S. H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal*, 12(1), Article 35. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0408-3>
11. Varivoda, A. A., Temerbaeva, M. V., Uryumtseva, T. I., Gerashchenko, L. A., Svirina, A. G. (2021). *Mathematical modeling of multicomponent beverages with a balanced composition of nutrients*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 677(2), Article 022104. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022104>
12. Ma, T., Wang, J., Wang, H., Lan, T., Liu, R., Gao, T. et al. (2020). Is overnight fresh juice drinkable? The shelf life prediction of non-industrial fresh watermelon juice based on the nutritional quality, microbial safety quality, and sensory quality. *Food and Nutrition Research*, 64. <https://doi.org/10.29219/fnr.v64.4327>
13. Fogarty, C., Smyth, C., Whyte, P., Brunton, N., Bolton, D. (2019). Sensory and ATP derivative-based indicators for assessing the freshness of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and cod (*Gadus morhua*). *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 58(1), 71–80. <https://doi.org/10.2478/ijaf-2019-0008>
14. Ashurst, P. (2016). The Stability and Shelf Life of Fruit Juices and Soft Drinks. Chapter in a book: The Stability and Shelf Life of Food (Second Edition), Woodhead Publishing, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00012-5>
15. Tiencheu, B., Nji, D. N., Achidi, A. U., Egbe, A. C., Tenyang, N. et al. (2021). Nutritional, sensory, physico-chemical, phytochemical, microbiological and shelf-life studies of natural fruit juice formulated from orange (*Citrus sinensis*), lemon (*Citrus limon*), Honey and Ginger (*Zingiber officinale*). *Heliyon*, 7(6), Article e07177. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07177>
16. Khasanov, A., Matveeva, N. (2020). *Determination of the shelf life of a functional beverage by accelerated testing*. E3S Web of Conferences, 164, Article 01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016401003>
17. Yoon, J.-W., Ahn, S.-I., Kim, H.-N., Park, J.-H., Park, S.-Y., Kim, J.-H. et al. (2017). Qualitative Characteristics and Determining Shelf-Life of Milk Beverage Product Supplemented with Coffee Extracts. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(2), 305–312. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.2.305>
18. Park, J.-H., Kim, J.-K. (2006). Change in chemical components of green powder tea during storage period at 5°C storage temperature. *Korean Journal of Food Preservation*, 13(6), 681–685.
19. Bocharova, O., Melnik, I., Hnatovskaya, D., Chub, S. (2017). Using the profile method for evaluation the beer quality. *Food Science and Technology*, 11(1). <https://doi.org/10.15673/fst.v11i1.298>
20. Mikulinich, M., Guzikova, N. (2021). Application of the descriptor-profile method in modeling the recipes of a preserved food using sprouted grain and malt extract. *Food Science and Applied Biotechnology*, 4(1), 22–30. <https://doi.org/10.30721/fsab2021.v4.i1.113>
21. Jeong, H.-S., Chung, H., Song, S.-H., Kim, C.-I., Lee, J.-G., Kim, Y.-S. (2015). Validation and determination of the contents of acetaldehyde and formaldehyde in foods. *Toxicological Research*, 31(3), 273–278. <https://doi.org/10.5487/TR.2015.31.3.273>
22. Debebe, A., Temesgen, S., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., Ele, E. (2018). Improvement in analytical methods for determination of sugars in fermented alcoholic beverages. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2018, Article 4010298. <https://doi.org/10.1155/2018/4010298>
23. Re Depaolini, A., Fattore, E., Bianchi, G., Fanelli, R., Davoli, E. (2020). Acetaldehyde in polyethylene terephthalate (PET) bottled water: Assessment and mitigation of health risk for consumers. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(12), Article 4321. <https://doi.org/10.3390/app10124321>
24. Klasson, K. T., Sturm, M. P., Cole, M. R. (2022). Acid hydrolysis of sucrose in sweet sorghum syrup followed by succinic acid production using a genetically engineered *Escherichia coli*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 39, Article 102231. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102231>
25. Chambré, D., Iđoiu, C., Szabo, M.-R. (2007). The reaction conditions influence on sucrose acid hydrolysis studied by means of DSC method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 88, 681–686. <https://doi.org/10.1007/s10973-006-8043-y>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Севостьянова Елена Михайловна — 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://orcid.org/0000-0001-8307-8329	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., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-01-96 e-mail: waterlena@list.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8307-8329
Соболева Ольга Александровна — кандидат технических наук, ведущий инженер исследователь, Отдел технологии пивоварения, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-83-10 e-mail: olgasoboleva@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3918-6135	Olga A. Soboleva , Candidate of Technical Sciences, Lead Research Engineer, Brewing Technology Department, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-83-10 e-mail: olgasoboleva@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3918-6135
Ковалева Ирина Львовна — ведущий инженер исследователь, Отдел технологии пивоварения, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-83-10 e-mail: kovalevail@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5327-7730	Irina L. Kovaleva , Lead Research Engineer, Brewing Technology Department, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-83-10 e-mail: kovalevail@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5327-7730
Грибкова Ирина Николаевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Отдел технологии пивоварения, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-04-47 e-mail: institut-beer@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4373-5387 * автор для контактов	Irina N. Gribkova , Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Brewing Technology Department, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-04-47 e-mail: institut-beer@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4373-5387 * 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/10.21323/2618-9771-2022-5-3-185-194>

Поступила 14.03.2022

Поступила после рецензирования 11.07.2022

Принята в печать 18.07.2022

© Зверев С. В., Политуха О. В., 2022

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

СБАЛАНСИРОВАННЫЙ СОСТАВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КРУП В УСЛОВИЯХ КОНЦЕПЦИИ АДЕКВАТНОГО ПИТАНИЯ

Зверев С. В., Политуха О. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

композитные крупы, пищевая
ценность, белки, незаменимые
аминокислоты, скор, углеводы,
баланс

АННОТАЦИЯ

Концепция адекватного питания предполагает соответствие рациона или многокомпонентного продукта множеству частных критериев. Среди них — баланс белков, жиров и углеводов (Б: Ж: У), биологическая ценность белка, наличие в составе необходимых витаминов и минералов и т. д. Следование теории адекватного питания — многокритериальная задача, решить которую в полной мере не представляется возможным. В статье рассмотрены частные показатели и предпринята попытка сконструировать многокомпонентные крупы, отвечающие двум основным критериям — полноценности белка и сбалансированности (Б: У). Значение критериев основано на рекомендациях Федерального центра гигиены и эпидемиологии РФ. Полноценный белок соответствует минимальному скору незаменимых аминокислот (НАК) не ниже единицы. Соотношение Б: У в общем случае зависит от пола, возраста и физических нагрузок человека. Критерий Б: У принят усредненным для мужчин различного возраста и различной физической нагрузки. В качестве ингредиентов в данной работе рассмотрены традиционные крупы (ячневая, рисовая, кукурузная, рисовая, пшенная), крупы из зерна бобовых культур (нут, чечевица, фасоль, горох), семена масличных (лен, конопля). Расчетным методом, на основании данных ряда баз по пищевой ценности продуктов питания, авторами получены рецепты двух и трех компонентных круп, отвечающие указанным критериям. Доля бобовых и масличных в полученных смесях составляет 17–45%, что может сказываться на вкусе каши. В ходе работы проводилась дегустация каши из ячневой крупы с добавкой нута и чечевицы с вариацией бобовых 10–35%. Даже при максимальной добавке бобовых вкус каши оставался приятным. Привкус, свойственный бобовым, отсутствовал.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022-0006 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 14.03.2022

Accepted in revised 11.07.2022

Accepted for publication 18.07.2022

© Zverev S. V., Politukha O. V., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

BALANCED COMPOSITION OF MULTICOMPONENT GROATS IN CONDITIONS OF THE ADEQUATE NUTRITION CONCEPT

Sergey V. Zverev, Olga V. Politukha

All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing, Moscow, Russia

KEY WORDS:

composite groats, nutritional
value, proteins, essential amino
acids, score, carbohydrates,
balance

ABSTRACT

The concept of adequate nutrition envisages the compliance of a diet or a multicomponent product with multiple specific criteria, including the balance of proteins, fats and carbohydrates (P: F: C), biological value of protein, the presence of necessary vitamins and minerals in the composition and so on. Adherence to the theory of adequate nutrition is a multicriterion task, which solution in the full measure is not considered possible. The paper examines specific indicators and makes an attempt to construct multicomponent groats that meet two main criteria — protein completeness and balance (P: C). The value of the criteria is based on the recommendations of the Federal Hygienic and Epidemiological Center of the RF. Complete protein corresponds to the minimal essential amino acid (EAA) score not lower than one. The B: C ratio, in general, depends on a human gender, age and physical load. The B: C was taken as averaged for men of different ages and different physical loads. In this study, traditional groats (fine-ground barley, rice, maize, millet), groats from grains of leguminous crops (chickpea, lentil, kidney bean, pea) and oil seeds (flax, hemp) were examined as ingredients. Using the computational method and data on the nutritional value of food products from several databases, the authors developed recipes of two- and three-component groats that meet the indicated criteria. The proportion of leguminous and oil crops in the obtained mixtures is 17–45%, which can affect taste of porridge. During the study, tasting of fine-ground barley porridge with addition of chickpea and lentil upon legume addition at a level of 10–35% was carried out. The porridge taste remained to be pleasant even at the maximum level of legume addition. Off-flavor typical of legumes was absent.

FUNDING: The article was published as part of the research topic FGUS-2022-0006 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зверев, С. В., Политуха О. В. (2022). Сбалансированный состав многокомпонентных круп в условиях концепции адекватного питания. *Пищевые системы*, 5(3), 185–194. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-185-194>

FOR CITATION: Zverev, S. V., Politukha, O. V. (2022). Balanced composition of multicomponent groats in conditions of the adequate nutrition concept. *Food Systems*, 5(3), 185–194. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-185-194>

1. Введение

Адекватное питание имеет целью обеспечить организм жизненно необходимыми нутриентами. Традиционно пищевой продукт характеризуется показателями в виде содержания белков, жиров, углеводов, витаминов, минеральных и биоактивных веществ, а пищевая ценность — показывает близость этих показателей к критерию адекватности в каждом конкретном случае. Соответственно, можно говорить о нутриентном профиле адекватного питания, который является эталонным, и о нутриентном профиле продукта.

Попытки формализации процесса составления суточного рациона или композитного продукта в соответствии с рекомендациями по адекватному питанию предпринимались сравнительно давно. В первую очередь для этого было необходимо перейти от вербальных моделей к математическим, для чего требовалось сформулировать критерии и целевые функции процесса формирования рациона. Комплексно к этому вопросу подошел Н. Н. Липатов [1].

В данной работе предпринята попытка разработать алгоритм формирования рациональных многокомпонентных продуктов, опираясь на рекомендации Федерального центра гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора [2]. В частности, в Таблице 1 приведены суточные нормы нутриентов для рациона мужчин, которые можно рассматривать в качестве нутриентного профиля адекватного питания.

Все взрослое мужское население, в зависимости от величины энергозатрат, разделено на 5 групп: I группа (очень низкая физическая активность) — работники преимущественно умственного труда; II группа (низкая физическая активность) — работники, занятые легким физическим трудом; III группа (средняя физическая активность) — работники средней тяжести труда; IV группа (высокая физическая активность) — работники тяжелого физического труда; V группа (очень высокая физическая активность; мужчины) — работники особо тяжелого физического труда.

Аналогичные рекомендации есть и для других групп населения (женщины, дети) [2].

Формализация процесса составления суточного рациона затруднена из-за обилия критериев и ограниченности в реальных условиях доступного ассортимента продуктов (ингредиентов). Поэтому целесообразно начать с более простых вещей, например, с рецептуры комбинированного монопродукта с небольшим количеством компонентов, ограничиваясь рядом основных критериев адекватности.

Готовый к употреблению монопродукт или полуфабрикат быстрого приготовления, отвечающий всем актуаль-

ным требованиям адекватного питания, был бы востребован среди профессиональных (и не только) сообществ (к примеру, среди военных, геологов, туристов и т. п.). Однако, учитывая количество нормируемых нутриентов, необходимых организму человека, создание адекватного многокомпонентного (композитного, комбинированного) монопродукта из различных натуральных ингредиентов представляет большую проблему. Теоретически это можно сделать, используя нутриенты в чистом виде. Но далеко не все они могут в чистом виде быть получены, и, вероятно, такой продукт будет неудобоваримым.

Поэтому целесообразно начать проектирование адекватного многокомпонентного монопродукта, следуя некоторым основным укрупненным требованиям. При этом особый интерес уделяется продуктам быстрого приготовления и длительного хранения, к которым относятся комбинированные зерновые продукты. Целью получения подобных композиций зернопродуктов является повышение их биологической ценности или придание им функциональных свойств [3,4,5].

В первом приближении нутриентный профиль продукта оценивается по соотношению макронутриентов (белки, жиры и углеводы), необходимых человеку в количествах, обеспечивающих пластические, энергетические и иные потребности организма. Для эффективного усвоения макронутриентов необходимо их поступление в организм в определенной пропорции [2,6].

Однако, понятия «белки», «жиры» и «углеводы» включают огромное количество разнообразных пищевых веществ, выполняющих свои физиологические функции в организме человека при их потреблении. Поэтому на данном уровне представлений о физиологии питания человека именно белки, жиры и углеводы во многом определяют профиль адекватного питания и качество продукта.

Однако нормальное функционирование живого организма невозможно без микронутриентов — витаминов и минеральных веществ. Минеральные вещества и часть витаминов не могут быть синтезированы организмом и должны поступать с пищей.

Представленные в Таблице 1 рекомендации относятся к суточному рациону. В случае формирования рецептуры многокомпонентного монопродукта основную роль в оценке адекватности играют рекомендованные соотношения нутриентов. Целью исследований является оценка возможности получения комбинированной крупы на базе традиционных с повышенной пищевой ценностью (сбалансированных по НАК и Б:У), за счет их дополнения крупой из бобовых культур и семян масличных.

Таблица 1. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для мужчин [2]

Table 1. Norms of physiological requirements in energy and nutrients for men [2]

Показатели (в сут.)	Группа физической активности (коэффициент физической активности)															Мужчины старше 60 лет	min	max	Среднее значение
	I (1,4)			II (1,6)			III (1,9)			IV (2,2)			V (2,5)						
	Возрастные группы																		
	18– 29	30– 39	40– 59	18– 29	30– 39	40– 59	18– 29	30– 39	40– 59	18– 29	30– 39	40– 59	18– 29	30– 39	40– 59				
Энергия и макронутриенты																			
Энергия, ккал	2450	2300	2100	2800	2650	2500	3300	3150	2950	3850	3600	3400	4200	3950	3750	2300	2100	4200	3078
Белок, г	72	68	65	80	77	72	94	89	84	108	102	96	117	111	104	68	65,0	117,0	87,9
в т. ч. животный, г	36	34	32,5	40	38,5	36	47	44,5	42	54	51	48	58,5	55,5	52	34			
Углеводы, г	358	335	303	411	387	366	484	462	432	566	528	499	586	550	524	335	303,0	586,0	445,4
Углеводы (% от белка)	4,97	4,93	4,66	5,14	5,03	5,08	5,15	5,19	5,14	5,24	5,18	5,20	5,01	4,95	5,04	4,93	4,7	5,2	5,1
Пищевые волокна, г	20																		

2. Материалы и методы

Единого критерия для оценки соответствия продукта представлениям об адекватном питании не выработано. Задача многокритериальная и приходится руководствоваться рядом показателей.

2.1. Критерий адекватности для белка

На Земле существует белковая форма жизни. Белок состоит из аминокислот (АК), часть которых относится к незаменимым (НАК не синтезируются в организме). Наличие незаменимых аминокислот обуславливает фундаментальную зависимость человека от их поступления с пищей в достаточном количестве и определенном соотношении. Аминокислотный профиль (состав) такого эталонного (эффективного) белка на основе обобщения многолетних медико-биологических исследований предлагается Продовольственной и сельскохозяйственной организацией (ФАО) при ООН. Представления об эталонном белке претерпевают изменения. Периодически его профиль пересматривается с учетом последних достижений науки [7].

Ряд профилей для взрослого человека, принятых ФАО в различные годы, приведен в Таблице 2.

Таблица 2. Аминокислотный состав эталонного белка

Table 2. Amino acid composition of the reference protein

Незаменимые аминокислоты	FAO (1973)	FAO (1974)	FAO (2007)	FAO (2013)
Лизин	5,5	5,1	4,5	4,8
Метионин + цистин	3,5	2,6	2,2	2,3
Изолейцин	4,0	4,2	3,0	3,0
Лейцин	7,0	7,0	5,9	6,1
Треонин	4,0	3,5	2,3	2,5
Фенилаланин + тирозин	6,0	7,3	3,8	4,1
Триптофан	1,0	1,1	6,0	0,66
Валин	5,0	4,8	3,9	4,0
Гистидин	—	—	1,5	1,6

В соответствии с концепцией эталонного белка, основным показателем его качества являлась величина минимального сора незаменимых аминокислот (НАК), т. е. скор первой лимитирующей НАК. Скор аминокислотный — показатель, представляющий собой отношение доли определенной незаменимой аминокислоты (НАК) в исследуемом белке к значению этой доли в эталонном белке. Впоследствии ФАО/ВОЗ была внесена корректировка на этот показатель с учетом усвояемости НАК.

Следуя данной оценке, белки можно разделить на три группы:

- неполноценные — минимальный скор мал или равен нулю (отсутствует одна из НАК);
- неполные — $0 < \text{минимальный скор} < 1$;
- полноценные — минимальный скор > 1 .

При сравнении двух белковых продуктов дело обстоит несколько сложнее. Отметим два крайних случая:

- в продукте много белка, но он не полноценный;
- продукт содержит полноценный белок, но белка мало.

В монопродукте, в зависимости от сора, белок будет использован организмом либо полностью на функциональные нужды (полноценный белок), либо частично (неполный, скор определяет долю такого белка), либо на энергетические нужды (неполноценный белок и та часть неполного белка, которая не соответствует эталонному).

Очевидно, что хороший белковый продукт должен содержать много белка, и белок должен быть полноценным,

хорошо усвояемым. Чем больше белка, тем ценнее продукт. Таким образом, критерием адекватности является наличие полноценного белка с минимальным скором НАК, близким к единице.

Из Таблицы 1 видно, что половину суточной нормы белка должен составлять животный белок, а остальную может составлять и растительный. Если учесть, что такая смесь практически всегда обеспечивает полноценность белка, то становится ясным, что в рекомендациях речь идет о полноценном белке, а он может быть и полностью растительным (рекомендуемая доля животного белка около 50% в суточном потреблении общего белка обеспечивает его полноценность).

В России крупы традиционно относятся к массовым, социально значимым продуктам питания, особенно для малообеспеченных слоев населения. Крупа — пищевой продукт, представляющий из себя целые или дробленые (иногда расплюснутые в виде хлопьев) семена различных культур, с поверхности которых удалены трудно усвояемые оболочки. В январе-марте 2021 года производство круп составило 375,0 тыс. тонн. По отношению к январю-марту 2020 года, оно сократилось на 5,0, тем не менее за два года показатели выросли на 0,2.

В России традиционными культурами для производства крупяных продуктов являются гречиха, рис, просо, овес, пшеница, ячмень, кукуруза. В последнее время в торговых сетях появились и не традиционные крупы — киноа, полба (спельта).

Другую группу источников растительного сырья составляют зернобобовые культуры, к которым относятся кормовые бобы, горох, вика посевная, фасоль обыкновенная, люпин (белый, желтый, многолетний, узколистый), соя, чечевица, чина, нут. Зерновые бобовые культуры возделывают для получения семян с высоким содержанием белка.

Во ВНИИ зерна (ВНИИЗ) апробированы крупы из ржи и тритикале, а также из ряда семян бобовых культур [8–11]. Недостатком традиционных круп является низкое содержание белка и его невысокое качество (кроме гречневой крупы).

2.2. Критерий адекватности для углеводов

Рекомендуемое соотношение белков и углеводов, как это видно из Таблицы 1, составляет 1:(4,7–5,2) [2]. Альтернативные варианты 1:4 и 1:3 [6,12].

Углеводы в организме человека выполняют в основном энергетическую функцию. Организм не тратит много ресурсов и времени на их переваривание, а энергию они отдают быстро. Моносахариды быстро повышают содержание сахара в крови и обладают высоким гликемическим индексом, поэтому их еще называют быстрыми углеводами. Гликемический индекс (ГИ) — величина, характеризующая сахароповышающее свойство продуктов, в которых содержатся углеводы. Углеводы, состоящие из трех или более единиц, называются сложными. Продукты, богатые сложными углеводами, постепенно увеличивают содержание глюкозы и имеют низкий гликемический индекс, поэтому их еще называют медленными углеводами.

В рамках концепции адекватного питания выделена роль полисахаридов в виде клетчатки или пищевых волокон. Пищевые волокна не перевариваются пищеварительными ферментами организма человека, но перерабатываются полезной микрофлорой кишечника [13–16].

Для поддержания здоровья диетологи рекомендуют каждый день употреблять 25–40 г. пищевых волокон. В Таблице 1 эта величина оценивается в 20 г.

2.3. Критерий адекватности для жиров

Специалисты Управления Роспотребнадзора по Москве рекомендуют использовать в рационе практически здорового человека соотношение белков и жиров, близкое к 1:(1,1–1,3). Это соотношение, как видно из Таблицы 1, в общем случае зависит от пола, возраста и физической активности человека [2]. Существуют и другие рекомендации, например, 1:1,4 [6]. Жиры состоят из жирных кислот, из которых две (омега 6 — линолевая кислота и омега 3 — А-линоленовая кислота) являются незаменимыми.

Подобно НАК в белках, в жирах часть жирных кислот также является незаменимыми. Незаменимые жирные кислоты являются частью полиненасыщенной группы. Действительно незаменимых жирных кислот две:

- Линолевая кислота (омега-6);
- А-линоленовая кислота (омега-3).

Незаменимые жирные кислоты должны составлять определенную часть от общего количества жиров: 17–27% — омега-6 и 3,3–6,6% — омега-3. В среднем соотношение омега-6 и омега-3 составляет 22:5. Обычно дефицит составляет омега-3.

Таким образом, критерием при формировании жирового комплекса продукта является соотношение групп жирных кислот и незаменимых жирных кислот. Контролю подлежат фосфолипиды.

2.4. Критерий адекватности для витаминов и минеральных веществ

Критерием адекватности для витаминов и минеральных веществ, а также для минорных и биоактивных нутриентов, является их суточная норма потребления. В общем случае желательно учитывать совместимость микронутриентов, поскольку в определенных сочетаниях их эффективность может усиливаться или ослабляться [17].

2.5. Калорийность продукта

Калорийность (энергия) продукта рассчитывается по формуле:

$$\text{Энергия} = 4 \times (\text{белки} + \text{углеводы}) + 9 \times \text{жиры}$$

Однако не вся эта энергия может быть использована организмом именно на энергетические нужды. Белок, если он является полноценным и поступил в меньшем количестве, чем рекомендовано, используется полностью на функциональные цели. Если он не полный, часть идет на энергетические нужды. Кроме того, и белок, и жиры, и углеводы усваиваются организмом не полностью. Коэффициенты усвояемости: для белка — 84,5%, для жиров — 94,0%, для углеводов — 96,5% [18]. Если жир и углеводы поступили с избытком, то они откладываются в организме в виде жировой ткани. А избыток белка дополнительно нагружает почки и печень.

2.6. Комбинированные зернопродукты повышенной пищевой ценности на базе крупяных культур

В качестве базовых критериев для монопродукта можно принять следующие условия:

- аминокислотный скор белка должен быть как можно ближе к единице;
- соотношение белков, жиров и углеводов должно быть близким к рекомендуемому. Например, для мужчин различных возрастов и физической активности средний показатель колеблется в пределах 1:1,2:5,1. По возможности необходимо контролировать:
- пищевые волокна (клетчатку);
- содержание сахаров (желательно иметь меньше 18% от общих углеводов);

- долю полиненасыщенных жирных кислот (20–33% от общего жира);
- долю омега-3 (3,5–7,0% от общего жира).

Классическим примером монопродукта служат крупы, которые традиционно потребляются в виде каши и гарниров. Однако по двум основным критериям (скор и БЖУ) большинство из них далеки от идеала.

2.7. Базы данных химического состава зернопродуктов

Химический состав зернопродуктов (и не только) широко представлен в источниках сети Интернет, при этом информация на разных сайтах может как существенно различаться, так и повторяться. Лаборатория нутрициологических данных Департамента сельского хозяйства США (USDA NDL) [19] ежегодно публикует обновленную базу данных нутриентов продуктов USDA SR27. Эта база является наиболее полной. В августе 2014 года был выпущен 27-й релиз, в который вошла информация по 150 нутриентам 8618 продуктов. В НИИ детского питания был выполнен перевод документации и содержимого базы данных. Переведенная на русский язык база данных размещена в информационной базе 1С [20]. Однако она основана на статистическом анализе зарубежных зернопродуктов, и из-за различия сортов и условий возделывания показатели могут различаться.

Поэтому обобщенными базами данных при разработке композитных зернопродуктов можно пользоваться для ориентировочной оценки показателей конечного продукта. Для корректировки результатов необходимы данные анализа конкретных партий исходного сырья.

2.8. Методика формирования рецептуры многокомпонентных круп

Основы методики балансировки композитных круп по незаменимым аминокислотам изложены в работе [21].

Во всех крупяных и зернобобовых культурах содержание жира мало и соотношение жир/белок = 1,2 много меньше рекомендуемого, поэтому в качестве показателя его можно не учитывать. Его дефицит компенсируется добавкой жира в кулинарные изделия.

В качестве основных показателей при оценке качества многокомпонентной крупы с заданными ингредиентами в первом приближении примем:

- Соотношение «углеводы/белок» = (4,7–5,2) или в среднем по возрасту мужчин и физической нагрузке равным 5,1 (см. Таблица 1),
- Минимальный скор НАК смеси должен быть не меньше единицы $C_{\min} \geq 1$.

Для расчетов потребуются количественные показатели для следующих компонент:

- B_k — содержание белка в k -й компоненте;
- U_k — содержание углеводов в k -й компоненте;
- G_k — содержание жиров в k -й компоненте;
- A_{ik} — содержание i -й НАК в k -й компоненте;

При необходимости — содержание других нутриентов в каждой из компонент и стоимость компонент.

Баланс i -й НАК в смеси

$$\sum_1^n X_k A_{ik} = C_i a_i \sum_1^n X_k B_k, \quad (1),$$

где X_k — доля k -й компоненты в смеси,

C_i — скор i -й НАК в смеси,

a_i — доля i -й НАК в эталонном белке,

n — число компонент в смеси.

Соответственно, $\sum_1^n X_k = 1$.

Из (1) получим скор i -й НАК в смеси:

$$C_i = \frac{\sum_1^n X_k A_{ik}}{a_i \sum_1^n X_k B_k}. \quad (2)$$

Соотношение «углеводы/белок» вычисляется по формуле:

$$\frac{\sum_1^n X_k U_k}{\sum_1^n X_k B_k} = Q, \quad (3)$$

где Q — рекомендуемая пропорция «углеводы/белки» для мужчин в количестве 4,7–5,2 в зависимости от возраста и физической нагрузки (в среднем 5,1).

Положим, что базовая добавка (бобовые) индексируется 1, базовая компонента (крупа) индексируется 2, остальные добавки 3... n . Тогда доля базовой компоненты (крупы) рассчитывается следующим образом:

$$X_2 = 1 - X_1 - \sum_3^n X_k. \quad (4)$$

Подставив (4) в (3) и преобразовав уравнение относительно доли базовой добавки (бобовые), получим

$$X_1 = \frac{(QB_2 - U_2) - \sum_3^n [(U_k - U_2) - Q(B_k - B_2)]}{(U_1 - U_2) - Q(B_1 - B_2)} \quad (5)$$

Учитывая большое быстроедействие и объем памяти современных ПК, проще всего эту задачу решить методом сканирования, например, с шагом 0,01 (1%).

Можно наложить ограничения, например, общая доля добавок, включая базовую, не должна превышать заданную величину:

$$X_1 + \sum_3^n X_k \leq M. \quad (6)$$

Из множества решений, отвечающих основным показателям качества и ограничению (6) по неформальным признакам, производится отбор приемлемых рецептов, например, с учетом стоимости. Однако окончательный выбор возможен только на основе сенсорных (органолептических) показателей, желательны в конкретных кулинарных изделиях.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Результаты расчета рецептов зерновых смесей

3.1.1. Макронутриентный состав круп

В Таблице 3 приведены усредненные по трем базам данные по калорийности, макронутриентному составу и минимальный скор незаменимых аминокислот ряда круп, зернобобовых и семян [22,23,24].

Таблица 3. Макронутриентный состав и калорийность зернопродуктов

Table 3. Macronutrient composition and calorificity of grain products

Продукт	Калорийность, ккал	Влажность	Жиры	Углеводы	Пищевые волокна (клетчатка)	Зола	Общий белок	Минимальный скор НАК (эталон 2013 г)	Жиры/Общий белок	Углеводы/Общий белок	Углеводы/Эталонный белок	Источник
Бобовые												
Чечевица	352	9,0	1,1	53	11,0	2,7	24,6	0,94	0,045	2,15	2,3	[1, 2]
Горох лущеный	328	—	1,7	54,2	11,0	—	27,4	1,01	0,062	1,35	1,2	[3]
Гороховая крупа (среднее)	326	8,7	2,3	39,2	19,6	2,7	24,8	1,21	0,093	1,93	1,9	[1, 2, 3]
Фасоль белая	335	11,7	1,4	52,9	15,3	3,8	22,8	0,88	0,061	1,71	1,9	[2]
Нут	378	7,7	6	43	12	2,9	20,5	1,17	0,293	2,10	2,1	[1, 2]
Крупы												
Ячневая	313	14	1,3	65	8,1	1,2	10	0,73	0,130	6,50	9,0	[1]
Ячневая	354	9,4	2,3	74	17	1,2	12,5	0,78	0,184	5,93	7,6	[2]
Ячневая	325	—	1,3	72	8,1	—	10,4	0,64	0,125	6,92	10,9	[3]
Ячневая (среднее)	331	11,7	1,6	70,4	11,2	1,2	11	0,72	0,145	6,40	8,9	[1, 2, 3]
Перловая	352	10,1	1,2	78	16	1,1	9,9	0,78	0,121	7,88	10,1	[2]
Перловая	315	14	1,1	67	7,8	0,9	9,3	0,67	0,118	7,20	10,7	[1]
Перловая	324	—	1,1	74	7,8	—	9,3	0,83	0,118	7,96	9,6	[3]
Перловая (среднее)	330	12,1	1,1	72,8	10,4	1	9,5	0,76	0,116	7,66	10,1	[1, 2, 3]
Пшеничная	342	14	3,3	67	3,6	1,1	11,5	0,53	0,287	5,83	11,0	[1]
Пшеничная	378	8,7	4,2	73	8,5	3,3	11,02	0,40	0,381	6,62	16,5	[2]
Пшеничная (среднее)	360	11,3	3,8	69,7	6,1	2,2	11,3	0,46	0,336	6,17	13,3	[1, 2]
Рисовая	333	14	1	74	3	0,7	7	0,77	0,143	10,57	13,7	[1]
Рисовая	317	12,9	0,6	79	—	0,5	6,6	0,75	0,091	11,95	15,9	[2]
Рисовая	322	—	0,7	73	4,5	—	9,7	0,73	0,072	7,53	10,3	[3]
Рисовая дробленая (среднее)	324	13,5	0,8	75,5	3,8	0,6	7,8	0,75	0,103	9,68	13,0	[1, 2, 3]
Кукурузная	328	14	1,2	71	4,8	0,7	8,3	0,53	0,145	8,55	16,2	[1]
Кукурузная	368	11,4	1,5	80	3,9	0,5	6,72	0,77	0,223	11,90	15,5	[2]
Кукурузная	330	—	1,3	76	4,8	—	8,3	0,53	0,157	9,16	17,4	[3]
Кукурузная (среднее)	342	12,7	1,3	75,6	4,5	0,6	7,8	0,60	0,167	9,69	16,3	[1, 2, 3]
Овсяная	342	12	6,1	60	8	2,1	12,3	0,80	0,496	4,88	6,1	[1]
Овсяная	389	8,3	6,9	66	11	1,7	16,9	0,86	0,409	3,91	4,5	[2]
Овсяная	363	—	6,8	67	8	—	12,9	0,68	0,527	5,19	7,6	[3]
Овсяная (среднее)	365	10,14	6,59	64	8,87	1,91	14,0	0,78	0,470	4,56	5,9	[1, 2, 3]
Полбяная	306	11	2,5	60	11	1,8	14,5	0,59	0,172	4,14	7,0	[1, 2]
Семена												
Лен	534	7,0	42	29	27	7,3	18,3	0,98	2,296	1,59	1,6	[1]
Конопля обрубленная	553	5,0	49	8,7	4	6,1	31,6	0,84	1,553	0,28	0,3	[1, 2]
Кунжут	565	9	49	12	5,6	5,1	19,4	0,60	2,526	0,62	1,1	[1]
Кунжут	631	3,8	61	12	12	2,3	20,4	0,66	2,983	0,59	0,9	[2]
Кунжут (среднее)	598	6,4	55	12	8,6	3,7	19,9	0,63	2,764	0,60	1,0	[1, 2]
Амарант	371	11,3	7	59	6,7	2,9	13,6	1,15	0,516	4,35	4,3	[1]

Как видно из Таблицы 3, бобовые и крупы содержат полный набор макронутриентов, кроме жиров. Жирами богаты семена масличных культур.

3.1.2. Белковый комплекс

Белковый комплекс характеризуется общим содержанием белка и профилем НАК. Качество белка оценивается по минимальному скору НАК. В Таблице 4 представлены усредненные скоры НАК белка некоторых круп, бобовых и семян (эталон от 2013 г).

Из Таблицы 4 видно, что традиционные крупы имеют неполный белок (минимальный скор НАК меньше единицы) с дефицитом лизина. Бобовые, наоборот, богаты полноценным белком (минимальный скор НАК больше единицы) с большой долей лизина. Т. е. белки комплементарны и могут дополнять друг друга.

3.1.3. Углеводный комплекс

Углеводы зерна и семян, как уже было сказано, принято разделять на быстрые и медленные. Относительным показателем скорости усвоения углеводов может служить гликемический индекс.

Гликемический индекс (ГИ) — показатель, по которому оценивается скорость попадания глюкозы в кровь. Чем выше этот показатель, тем быстрее глюкоза попадает в кровь и тем более резким будет скачок сахара в крови. Шкала гликемических индексов строится относительно глюкозы — ее ГИ равен 100. При сахарном диабете рекомендуется употребление продуктов с низким ГИ (до 40–45). Соотношение «углеводы/общий белок» даны в Таблице 3. В Таблице 5 приведены значения гликемических индексов крупы, бобовых и семян [25].

Таблица 4. Скоры НАК белка некоторых круп, бобовых и семян (усредненные данные, эталон от 2013 г).

Table 4. EAA scores of protein in several groats, legumes and seeds (averaged data, reference of 2013)

Продукт	Общий белок, %	Лизин	Метионин + Цистин	Изолейцин	Лейцин	Трионин	Фениланин + Тирозин	Триптофан	Валин	Гистидин
Бобовые										
Чечевица	24,6	1,46	0,94	1,44	1,19	1,43	1,52	1,36	1,24	1,76
Гороховая крупа	23,5	1,57	1,01	1,40	1,20	1,44	1,82	1,40	1,17	1,58
Фасоль белая	22,8	1,33	1,05	1,45	1,29	1,48	1,69	1,90	1,35	1,58
Нут	20,1	1,40	1,17	1,44	1,17	1,50	1,64	1,48	1,06	1,73
Крупа										
Ячневая	11,0	0,72	1,63	1,51	0,93	1,21	1,98	2,06	1,20	1,41
Перловая	9,5	0,76	1,51	1,35	0,95	1,06	1,93	2,05	1,50	1,26
Пшеничная	11,3	0,46	1,76	1,32	1,78	1,37	2,07	2,01	1,16	1,36
Рисовая дробленая	7,8	0,75	1,66	1,32	1,23	1,25	2,29	1,61	1,38	1,43
Кукурузная	7,8	0,60	1,57	1,62	2,35	1,20	2,20	1,18	1,36	1,47
Овсяная	14,0	0,78	1,52	1,53	0,97	1,24	1,99	2,11	1,20	1,28
Тритикалевая	13,0	0,62	1,44	1,21	1,14	1,23	2,00	1,74	1,11	1,45
Полбяная	14,6	0,59	1,76	1,27	1,21	1,22	1,87	1,38	1,17	1,55
Гречневая	12,4	0,99	1,87	1,28	0,96	1,45	1,75	2,16	1,27	1,47
Семена										
Лен	18,3	0,98	1,69	1,63	1,11	1,68	1,93	2,46	1,47	1,61
Конопля обрубленная	31,6	0,84	2,21	1,36	1,12	1,61	2,09	1,77	1,41	1,92
Кунжут	19,9	0,63	2,38	1,28	1,17	1,51	1,98	2,38	1,17	1,61
Амарант	13,6	1,15	1,34	1,43	1,06	1,65	1,57	2,02	1,25	1,79
Эталонный белок, % (эталон 2013 г)	100	4,8	2,3	3,0	6,1	2,5	4,1	0,66	4,0	1,6

Таблица 5. Гликемический индекс крупы, бобовых и семян [25]

Table 5. Glycemic index of groats, legumes and seeds [25]

Продукт	Гликемический индекс	Продукт	Гликемический индекс
Крупы		Бобовые	
Ячневая крупа	40–45	Фасоль	25–40
Перловая	20–40	Чечевица	25–35
Пшено	70	Горох	25–40
Кукурузная крупа	70–75	Нут	30
Пшеничная крупа	40–70	Масличные	
Манная крупа	70–85	Лен	35
Рис белый	70	Конопля	–
Овсяная цельнозерновая	40–60	Кунжут	35

В последнее время в продаже появилось большое количество так называемых комбинированных (многокомпонентных, композитных) круп, которые можно рассматривать как некий монопродукт, состоящий из ряда ингредиентов (компонент).

3.1.4. Двухкомпонентные смеси

Анализ скоров НАК крупяных и бобовых культур (Таблица 4) показал, что крупы лимитированы по лизину и имеют низкий минимальный скор, но богаты метионином и цистином. Бобовые имеют минимальный скор по метионину и цистину, но у части из них белок полноценный, а у части неполный. При подмешивании к крупам бобовых зернопродуктов в смеси будет нарастать лизин и снижаться уровень метионина и цистина. Минимальный скор смеси определя-

ется лизином и при подмешивании бобовых раньше достигает значения единицы, чем метионин и цистин опускаются ниже единицы. Поэтому в простейшем случае балансировку НАК можно вести по лизину.

Для проведения расчетов была разработана программа в Microsoft Excel, которая при введении исходных данных по содержанию жира, клетчатки, гликемического индекса и стоимости для компонент позволяла контролировать эти показатели и энергию смеси. В Таблице 6 приведены результаты расчетов двухкомпонентных смесей из крупы и бобовых при доле бобовых, соответствующих минимальному скору НАК смеси, равному единице ($C=1$).

Исходя из рассмотренных комбинаций нутриентов, крупа ячневая может быть признана приемлемой по основным критериям (минимальный скор НАК и отношение У/Б). Для всех бобовых при минимальном скору НАК (лизин), равно единице, смесь имеет полноценный белок больше 12% и соотношение У/Б несколько меньше рекомендованного 5,1. Для кукурузной и рисовой круп при полноценном белке наблюдается отклонение У/Б от рекомендации в большую сторону. У пшенной и полбяной круп наблюдается существенное отклонение в меньшую сторону.

Очевидно, что в смеси рисовой и кукурузной круп с бобовыми необходимо добавить высокобелковый компонент с «хорошим» белком и низким содержанием углеводов (с низким соотношением У/Б). В пшенную и полбяную крупы — наоборот, высокоуглеводный продукт с очень низким белком (с высоким соотношением У/Б). Однако в последнем случае высокий уровень добавки бобовых (более 30%) вызывает сомнение во вкусовых качествах подобной смеси. Кроме того, возникают проблемы с третьей высокоуглеводной

добавкой. Для этой цели подошла бы крупа типа крахмального саго, например, тапиоковое саго.

3.1.5. Трехкомпонентные смеси

В качестве низкоуглеводной компоненты со сравнительно «хорошим» белком рассматривались семена кунжута и ядро конопли технической, характеристики которых представлены в Таблицах 3 и 4. Результаты расчетов для кукурузной и рисовой круп при минимальном скору НАК смеси, равно единице, представлены в Таблице 7.

Как видно из Таблицы 7, добавка кунжута или ядра конопли позволяет сбалансировать по двум критериям смеси на базе кукурузной и рисовой круп, однако суммарный объем добавок возрастает, что может сказаться на вкусе. Следует иметь в виду, что с добавкой масличных семян возрастает содержание в смеси жира в некоторых случаях до 7%, что может сказаться на сохраняемости продукта.

Требованиям формальных критериев оценки качества (скор и Б: У) отвечают двухкомпонентная ячневая крупа и все варианты трехкомпонентных круп. Для отбора перспективных многокомпонентных круп необходимы другие показатели их потребительских свойств. Поэтому окончательный отбор перспективных композиций должен определяться дегустацией. Ранее были апробированы каши из ячменной, рисовой и тритикалевой крупы с добавками до 10–35% нута и чечевицы, которые показали технологичность при приготовлении и хороший вкус [5].

Не следует забывать и об экономической стороне вопроса. Цены на компоненты существенно различаются, что сказывается и на стоимости их смесей. Но это уже работа маркетологов.

Таблица 6. Рациональные рецептуры двухкомпонентных круп

Table 6. Rational recipes of two-component groats

Основные компоненты				Белок		Углеводы			Жиры			Клетчатка		Энергия		Гликемический индекс	
Крупа	Бобовые	Доля бобовых, %	Влажность, %	Общий, %	Скор (< 1)	% от суточной нормы	Углеводы, %	Углеводы/елок (4,7–5,2)	% от суточной нормы	Жиры, %	Жиры/белок (< 1,2)	% от суточной нормы	Клетчатка, %	% от суточной нормы	Энергия, ккал	% от суточной нормы	Плохо 70 ... 55 хорошо
Ячневая	Нут	27	11	13,5	1	15	63,0	4,7	14	2,8	0,21	2,5	11,4	57	346	10,9	36
	Чечевица	22	11	14,0	1	16	66,5	4,8	15	1,5	0,11	1,3	11,1	55	335	10,6	36
	Фасоль	29	12	14,4	1	16	65,3	5,0	15	1,6	0,11	1,4	12,3	62	332	10,5	39
	Горох	19	11	13,6	1	15	67,1	4,7	14	1,8	0,13	1,5	11,1	56	330	10,5	36
Кукурузная	Нут	28	11	11,3	1	13	66,5	5,9	15	2,6	0,23	2,3	67	33	352	11,2	46
	Чечевица	22	12	11,5	1	13	70,6	6,2	16	1,3	0,11	1,1	5,9	29	344	10,9	45
	Фасоль	30	12	12,3	1	14	68,7	5,6	15	1,3	0,11	1,8	7,7	39	340	10,8	60
	Горох	20	12	11,2	1	12	68,3	6,1	15	1,5	0,14	1,3	7,5	38	339	10,8	45
Рисовая	Нут	19	12	10,2	1	11	69,3	6,8	16	1,8	0,17	1,6	5,4	27	334	10,6	45
	Чечевица	17	12	11,2	1	12	68,5	6,1	15	3,2	0,31	3,1	5,2	26	342	10,9	45
	Фасоль	21	13	10,9	1	12	70,8	6,5	16	0,9	0,1	0,8	6,2	31	326	10,4	51
	Горох	13	13	10,0	1	11	70,8	7,1	16	1,0	0,1	0,8	5,8	29	324	10,3	46
Пшенная	Нут	42	10	15,1	1	17	68,4	3,9	15	4,7	0,31	4,2	8,6	42	367	11,7	45
	Чечевица	35	10	15,9	1	18	63,7	4,0	14	2,8	0,18	2,5	7,7	38	357	11,3	45
	Фасоль	45	11	16,5	1	18	62,1	3,8	14	2,7	0,16	2,4	10,2	51	349	11,1	46
	Горох	32	10	15,6	1	17	59	3,8	14	3,3	0,21	2,9	10,4	58	349	11,1	46
Полбяная	Нут	42	10	17,0	1	19	52,8	3,1	12	4,0	0,23	3,5	11,3	57	336	10,7	43
	Чечевица	35	10	18,0	1	20	57,4	3,2	12	2,0	0,11	1,8	107	53	322	10,2	43
	Фасоль	44	11	18,4	1	20	56,9	3,1	13	2,0	0,11	1,8	12,7	63	319	10,1	44
	Горох	31	11	17,3	1	19	57,8	3,3	13	2,4	0,14	2,2	10,7	54	312	9,9	44

Таблица 7. Рациональные рецептуры трехкомпонентных круп
Table 7. Rational recipes of three-component groats

Основные компоненты		Доля бобовых, %	Третья компонента		Белок			Углеводы			Жиры			Клетчатка		Энергия		Гликемичес-	
Крупа	Бобовые		Вид	Доля, %	Влажность, %	Общий, %	Скор (~ 1)	% от суточной нормы	Углеводы, %	Углеводы/белок (4,7–5,2)	% от суточной нормы	Жиры, %	Жиры/белок (~ 1,2)	% от суточной нормы	Клетчатка, %	% от суточной нормы	Энергия, ккал	% от суточной нормы	Плохо 70 ... 55 хорошо
Ячневая	Нут	26	Саго	5	11	12,9	1	14,3	64,0	5	14,4	2,7	0,21	1,4	10,9	55	344	10,9	44
	Чечевица	21	Саго	4	11	13,4	1	14,9	67,3	5,0	15,1	1,5	0,11	1,3	10,6	53	336	10,7	44
	Фасоль	29	–	–	12	14,4	1	16,0	65,3	5,0	15,0	1,6	0,11	1,4	12,3	62	332	10,5	39
	Горох	19	–	–	12	13,3	1	15,0	67,1	5,0	15,0	1,6	0,12	1,4	11,1	56	330	10,5	37
Кукурузная	Нут	28	Конопля	5	11	12,5	1	13,9	63,0	5,0	14,2	5,1	0,41	4,5	6,6	33	363	11,5	43
	Чечевица	26	Конопля	6	11	13,1	1	14,5	66,3	5,1	14,9	4,1	0,32	3,6	5,9	29	357	11,3	52
	Фасоль	30	Конопля	3	12	13,0	1	14,5	60,7	5,1	15,9	2,8	0,22	2,5	7,7	39	346	11,0	44
	Горох	20	Конопля	8	12	12,8	1	14,0	65,7	5,1	14,8	5,1	0,40	4,5	5,7	29	356	11,3	52
Кукурузная	Нут	30	Кунжут	5	11	12,8	1	13,6	62,5	5,1	14,1	5,5	0,45	4,8	7,0	35	365	11,6	43
	Чечевица	24	Кунжут	8	11	12,8	1	14,0	65,0	5,1	14,6	5,6	0,44	4,9	6,3	32	365	11,6	46
	Фасоль	31	Кунжут	4	12	12,9	1	14,4	65,9	5,1	14,8	3,5	0,27	3,1	8,0	40	350	11,1	44
	Горох	22	Кунжут	11	11	12,6	1	14,0	63,6	5,1	14,3	7,2	0,58	6,4	6,3	32	366	11,6	46
Рисовая	Нут	19	Конопля	10	12	11,9	1	13,3	64,9	5,0	13,8	6,4	0,54	5,6	4,4	22	350	11,1	55
	Чечевица	17	Конопля	10	12	13,0	1	14,0	64,9	5,0	15,0	5,6	0,43	4,5	5,0	25	351	11,2	56
	Фасоль	23	Конопля	7	12	12,9	1	14,3	65,6	5,1	14,8	4,3	0,33	3,8	6,4	32	342	10,9	51
	Горох	15	Конопля	11	12	12,7	1	14,2	64,8	5,1	14,6	6,1	0,48	5,4	4,8	24	349	11,1	70
Рисовая	Нут	25	Кунжут	10	11	12,1	1	13,5	61,0	5,0	13,7	7,5	0,62	6,6	6,3	32	364	11,6	56
	Чечевица	20	Кунжут	12	12	12,6	1	14,0	63,3	5,0	14,2	7,3	0,52	6,5	7,3	29	362	11,5	45
	Фасоль	26	Кунжут	9	12	12,8	1	14,2	63,9	5,0	14,4	5,8	0,45	5,1	7,2	36	351	11,2	46
	Горох	18	Кунжут	14	12	12,3	1	13,7	62,6	5,1	14,1	8,5	0,69	7,5	5,7	29	363	11,5	55
Пшеничная	Нут	36	Саго	17	10	12,7	1	14,1	63,0	5,0	14,2	4,0	0,31	3,5	7,4	37	366	11,6	51
	Чечевица	29	Саго	17	11	13,2	1	14,7	67,7	5,1	15,2	2,4	0,18	2,1	6,5	33	357	11,3	51
	Фасоль	36	Саго	20	11	13,2	1	14,7	67,1	5,1	15,1	2,2	0,17	1,9	8,3	42	350	11,1	52
	Горох	28	Саго	11	11	13,5	1	15,0	66,9	5,0	15,0	2,7	0,20	2,4	6,8	34	350	11,1	52
Полбяная	Нут	30	Саго	28	10	12,3	1	13,6	62,6	5,1	14,1	2,9	0,23	2,5	8,4	42	345	15,4	60
	Чечевица	25	Саго	27	11	13,2	1	14,6	65,5	5,0	14,7	1,5	0,12	1,3	8,0	40	332	10,5	48
	Фасоль	32	Саго	28	11	13,2	1	14,6	65,4	5,0	14,7	1,5	0,11	1,3	9,4	47	330	10,5	48
	Горох	23	Саго	25	11	13,0	1	14,4	65,2	5	14,7	1,7	0,13	1,5	8,3	41	323	10,3	48

Перспективным направлением является разработка композитных круп ускоренного и быстрого приготовления на базе экструдантов и микронизированных зернопродуктов.

4. Заключение

Человек за сутки съедает около 1,5 кг разнообразных продуктов. Чтобы обеспечить организм полноценным белком необходимо съесть 0,7–1,5 кг традиционной крупы, что не представляется возможным. Для того чтобы удовлетворить суточную норму организма в белках, жирах, углеводах и энергии, потребуется съесть около 350 г многокомпо-

нентной крупы с маслом, что теоретически возможно, но нарушает основной принцип адекватного питания — разнообразие продуктов, однако в экстремальных условиях это приемлемо. В любом случае мы имеем продукт сбалансированный по белково-углеводному комплексу с полноценным белком.

Конструирование подобных продуктов, тем более при расширении показателей качества в части жиров и минерально-витаминного комплекса, требует большой фантазии и опыта, в том числе и в области кулинарии. Представляется перспективной разработка баз знаний или нейронных сетей, позволяющих упростить эту работу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Липатов, Н.Н. (1990). Принципы и методы проектирования рецептур пищевых продуктов, балансирующих рационы питания. *Известия Высших учебных заведений. Пищевая технология*, 6(199), 5–10.
2. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21. Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021
3. Ravisankar, S., Agah, S., Kim, H., Talcott, S., Wu, C., Awika, J. (2019). Combined cereal and pulse flavonoids show enhanced bioavailability by downregulating phase II metabolism and ABC membrane transporter function in caco-2 model. *Food Chemistry*, 279, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.006>
4. Юшков, С. (2018). Разработка комплексного состава растительных белков, имеющего полноценный набор аминокислот. *Бизнес пищевых ингредиентов*, 1, 22–27.
5. Zverev, S., Sesikashvili, O., Pruidze, E. (2020). Enrichment of protein barley and triticale groats by adding chickpea. *Journal of Food and Nutrition Research*, 59(3), 202–206.
6. Принципы рационального питания. Электронный ресурс: <https://77.rosptrebnadzor.ru/index.php/40-san-epid/2009-08-20-06-08-14/1222-zdorovie-sp-537> Дата обращения 14.02.2022
7. FAO (2013). Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAQ Expert Consultation. *FAO Food and Nutrition Paper*, 92, 1–66.
8. Зверев, С.В., Политуха, О.В., Панкратьева, И.А. (2019). Шлифование зерна тритикале. *Хлебопродукты*, 5, 47–49. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-5-47-49>
9. Патент № 2510294С2. Способ производства крупы из зерна ржи / Панкратьева И. А., Политуха О. В., Сокол Е. Н., Чиркова Л. В. Опубл. 27.03.2013 Бюл. № 7.
10. Зверев, С.В., Политуха, О.В., Климова, А.Р., Донская, М.В. (2020). Получены дробленые крупы из бобовых культур Получение номерной дробленой крупы из нута. *Хлебопродукты*, 7, 55–57. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-7-55-57>
11. Зверев С. В., Политуха О. В., Ванина Л. В. (2021). Дробленая крупа из нута. *Пищевая промышленность*, 4, 46–49. <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-4-0043>
12. Misner, W. Why we use A 3:1 ratio in recoverite. Retrieved from <https://hammernutrition.co.uk/blogs/news/why-we-use-a-3-1-ratio-in-recoverite> Accessed February 14, 2022
13. Пырьева, Е.А., Сафронова, А.И. (2019). Роль и место пищевых волокон в структуре питания населения. *Вопросы питания*, 88(6), 5–11. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059>
14. Trowell, H. C., Burkitt, D. P. (1987). The development of the concept of dietary fibre. *Molecular Aspects of Medicine*, 9(1), 7–15. [https://doi.org/10.1016/0098-2997\(87\)90013-6](https://doi.org/10.1016/0098-2997(87)90013-6)
15. Уильямс, К.Л. (2010). Пищевые волокна и нутритивная поддержка в педиатрии: современные представления. *Вопросы питания*, 79(4), 42–49.
16. Brownlee, I.A. (2011). The Physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids*, 25(2), 238–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.11.013>
17. Ших, Е.В. (2004). Взаимодействия компонентов витаминно-минеральных комплексов и рациональная витаминотерапия. *Русский медицинский журнал*, 12(17), 1011–1012.
18. Нечаев, А.П., Траубенберг, С.Е., Кочеткова, А.А., Колпакова, В.В., Витол, И.С., Кобелева, И.Б. (2015). Пищевая химия. — СПб.: ГИОРД. — 672 с.
19. Methods and Application of Food Composition Laboratory: Beltsville, MD. Retrieved from <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-bhnrc/beltsville-human-nutrition-research-center/methods-and-application-of-food-composition-laboratory/> Accessed February 5, 2022
20. База данных нутриентов продуктов USDA SR27 по-русски. Электронный ресурс http://www.1cp.ru/sr27/ar_sr27.pdf Дата обращения 05.02.2022.
21. Zverev, S.V., Nikitina, M.A. (2019). Balance of protein supplements according to the criterion of convertible protein. *Food Systems*, 2(1), 16–19. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-1-16-19>
22. Таблицы калорийности, пищевой ценности и химического состава продуктов питания и готовых блюд. Электронный ресурс: https://health-diet.ru/table_calorie/?utm_source=leftMenu&utm_medium=table_calorie Дата обращения 05.03.2022
23. Категории продуктов. Электронный ресурс: <https://fitaudit.ru/categories> Дата обращения 05.03.2022
24. Зенкова, А. Н. Куминский, В.П., Пятницкая, И.Н., Панкратьева, И.А., Давыдова, И.А., Политуха, О.В. (2009). Крупяные продукты как компонент здорового питания. Москва: Россельхозакадемия, 2009
25. Гликемический индекс круп. Электронный ресурс: <https://shkoladiabeta.ru/living/food/glikemicheskiy-indeks-krup/> Дата обращения 05.03.2022

REFERENCES

1. Lipatov, N.N. (1990). Principles and methods of designing food recipes that balance diets. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 6(199), 5–10. (In Russian)
2. Norms of physiological energy and nutritional requirements for various population groups of the Russian Federation. Methodological recommendations MR2.3.1.0253–21. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rosptrebnadzor, 2021. (In Russian)
3. Ravisankar, S., Agah, S., Kim, H., Talcott, S., Wu, C., Awika, J. (2019). Combined cereal and pulse flavonoids show enhanced bioavailability by downregulating phase II metabolism and ABC membrane transporter function in caco-2 model. *Food Chemistry*, 279, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.006>
4. Yushkov, S. (2018). Development of a complex composition of plant proteins with a full set of amino acids. *Food Ingredients Business*, 1, 22–27. (In Russian)
5. Zverev, S., Sesikashvili, O., Pruidze, E. (2020). Enrichment of protein barley and triticale groats by adding chickpea. *Journal of Food and Nutrition Research*, 59(3), 202–206.
6. Principles of rational nutrition. Retrieved from <https://77.rosptrebnadzor.ru/index.php/40-san-epid/2009-08-20-06-08-14/1222-zdorovie-sp-537> Accessed February 14, 2022 (In Russian)
7. FAO (2013). Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAQ Expert Consultation. *FAO Food and Nutrition Paper*, 92, 1–66.
8. Zverev, S.V., Politukha, O.V., Pankratieva, I.A. (2019). Grinding of triticale grain. *Bread Products*, 5, 47–49. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-5-47-49> (In Russian)
9. Pankratieva I. A., Politukha O. V., Sokol E. N., Chirkova L. V. Method of production of cereals from rye grain. Patent RF, no. 2510294C2, 2013. (In Russian)
10. Zverev, S.V., Politukha, O.V., Klimova, A.R., Donskaya, M.V. (2020). Obtaining numbered crushed cereals from chickpeas. *Bread Products*, 7, 55–57. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-7-55-57> (In Russian)
11. Zverev, S.V., Politukha, O.V., Vaniina, L.V. (2021). Crushed chickpea groats. *Food Industry*, 4, 46–49. <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-4-0043> (In Russian)
12. Misner, W. Why we use A 3:1 ratio in recoverite. Retrieved from <https://hammernutrition.co.uk/blogs/news/why-we-use-a-3-1-ratio-in-recoverite> Accessed February 14, 2022
13. Pyryeva, E.A., Safronova A. I. (2019). The role of dietary fibers in the nutrition of the population. *Problems of Nutrition*, 88(6), 5–11. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059> (In Russian)
14. Trowell, H. C., Burkitt, D. P. (1987). The development of the concept of dietary fibre. *Molecular Aspects of Medicine*, 9(1), 7–15. [https://doi.org/10.1016/0098-2997\(87\)90013-6](https://doi.org/10.1016/0098-2997(87)90013-6)
15. Williams, C. L. (2010). Dietary fiber and nutritional support of pediatrics: current understanding. *Problems of Nutrition*, 79(4), 42–49. (In Russian)
16. Brownlee, I.A. (2011). The Physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids*, 25(2), 238–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.11.013>
17. Shikh, E.V. (2004). Interactions of components of vitamin and mineral complexes and rational vitamin therapy. *Russian Medical Journal*, 12(17), 1011–1012.
18. Nechaev, A.P., Traubenberd, S.E., Kochetkova, A.A., Kolpakova, V.V., Vitol, I.S., Kobleleva, I.B. (2015). Food chemistry. Saint-Petersburg: GIORД. 672 p.
19. Methods and Application of Food Composition Laboratory: Beltsville, MD. Retrieved from <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-bhnrc/beltsville-human-nutrition-research-center/methods-and-application-of-food-composition-laboratory/> Accessed February 5, 2022
20. The database of nutrients of USDA SR27 products in Russian. Retrieved from http://www.1cp.ru/sr27/ar_sr27.pdf Accessed February 5, 2022 (In Russian)
21. Zverev, S.V., Nikitina, M.A. (2019). Balance of protein supplements according to the criterion of convertible protein. *Food Systems*, 2(1), 16–19. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-1-16-19>
22. Tables of caloric content, nutritional value and chemical composition of food and ready meals. Retrieved from https://health-diet.ru/table_calorie/?utm_source=leftMenu&utm_medium=table_calorie Accessed March 5, 2022 (In Russian)
23. Product Categories. Retrieved from <https://fitaudit.ru/categories> Accessed March 5, 2022 (In Russian)
24. Zenkova, A. N. Kaminsky, V.P., Pyatnitskaya, I.N., Pankratieva, I.A., Davydova, I.A., Politukha, O.V. (2009). Cereal products as a component of healthy nutrition. Moscow: Russian Agricultural Academy, 2009 (In Russian)
25. Glycemic index of cereals. Retrieved from <https://shkoladiabeta.ru/living/food/glikemicheskiy-indeks-krup/> Accessed March 5, 2022 (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Зверев Сергей Васильевич — доктор технических наук, профессор, заведующий отделом «Технологии хранения и комплексной переработки зерна», Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7–903–533–38–43 E-mail: zverevsv@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6136-1796	Sergey V. Zverev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory “Technology and Technique of Cereal Production”, All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7–903–533–38–43 E-mail: zverevsv@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6136-1796
Политуха Ольга Владимировна — ведущий инженер, Отдел «Технологии хранения и комплексной переработки зерна», Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7–499–976–12–17 E-mail: vniiz_krup@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1337-9086	Olga V. Politukha, Leading Engineer, Department “Technology and Technique of Cereal Production”, All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7–499–976–12–17 E-mail: vniiz_krup@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1337-9086
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/10.21323/2618-9771-2022-5-3-195-201>

Поступила 07.07.2022

Поступила после рецензирования 28.07.2022

Принята в печать 02.08.2022

© Гурский И. А., Ландиховская А. В., Творогова А. А., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

РАЗМОРОЖЕННЫЕ ПРОДУКТЫ С СОХРАНЕННОЙ МИКРО- И МАКРОСТРУКТУРОЙ

Гурский И. А.*, Ландиховская А. В., Творогова А. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*размороженные продукты,
изделия из муки, взбитые
десерты, сохранение структуры*

АННОТАЦИЯ

В современном мире, ввиду ритма и образа жизни потребителей, существует необходимость производства замороженных продуктов питания, готовых к потреблению после размораживания или разогрева. Важной задачей при этом является сохранение микро- и макроструктуры изделий из муки и взбитых десертов. В статье приведен анализ исследований аспектов производства и реализации замороженных готовых продуктов с сохраненной микро- и макроструктурой. Обоснована возможность позиционирования взбитых кисломолочных десертов в качестве продуктов функциональной направленности. В исследованиях для этой категории продукции особое внимание уделяется роли нутриентного состава (белков, жиров, стабилизаторов и эмульгаторов) и значимости технологических операций (фризерование и ферментация). Обращено внимание на состояние структурных элементов в замороженном и размороженном состояниях. Несмотря на отсутствие кристаллов льда в размороженных десертах, следует учитывать их влияние на дисперсность воздушной фазы в замороженном продукте. Установлено, что замороженная лапша является распространенным видом продукции в азиатских странах и потребление этого продукта растет из года в год. Другие виды продукции из муки (макаронные, хлебобулочные и кондитерские изделия) пользуются спросом как продукты быстрого питания. Перспективным направлением в производстве готовых продуктов питания является поиск решений и компонентов для сохранения макроструктуры продукта. Среди важных задач — поддержание товарного вида размороженного продукта, предотвращение роста кристаллов льда в замороженном состоянии и сохранение структуры белков. Значимое место в производстве макарон и хлебобулочных изделий занимает подбор криопротекторов — компонентов, обладающих способностью ингибировать рост кристаллов льда и способствующих сохранению макроструктуры продукта. Важным аспектом качества размороженной продукции является ее безопасность при размораживании, в частности необходим контроль микробиологических показателей, а также связанного с ним показателя активности воды.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № 075–01190–22–00 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН.

Received 07.07.2022

Accepted in revised 28.07.2022

Accepted for publication 02.08.2022

© Gurskiy I. A., Landikhovskaya A. V., Tvorogova A. A., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

DEFROSTED PRODUCTS WITH PRESERVED MICRO- AND MACROSTRUCTURE

Igor A. Gurskiy*, Anna V. Landikhovskaya, Antonina A. Tvorogova

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

KEY WORDS:

*defrosted products, flour products,
aerated desserts, structure
preservation*

ABSTRACT

In the modern world, due to the consumers' pace of life and lifestyle, there is a need for production of frozen food products that are ready-to-eat after defrosting or heating. An important task, therewith, is preservation of the micro- and macrostructure of flour products and aerated desserts. The paper presents an analysis of studies of aspects of production and realization of frozen finished products with the preserved micro- and macrostructure. A possibility of positioning aerated fermented dairy desserts as functional products is substantiated. In investigation of this product category, particular emphasis is placed on the role of the nutrient composition (proteins, fats, stabilizers and emulsifiers) and an importance of technological operations (freezing and fermentation). Attention is given to the state of the structural elements in the frozen and defrosted states. Despite the absence of crystals in defrosted desserts, it is necessary to take into account their influence on dispersity of the air phase in a frozen product. It was found that frozen noodles are a common product type in Asian countries and consumption of this product is growing every year. Other flour products (macaroni, bakery and confectionery products) are in demand as fast-food products. A promising direction in production of finished food products is a search for solutions and components for preservation of the product macrostructure. Among important tasks are maintenance of the marketable appearance of a defrosted product, prevention of the ice crystal growth in the frozen state and preservation of the protein structure. An important place in production of macaroni and bakery products is occupied by selection of cryoprotectants — components having an ability to inhibit the ice crystal growth and facilitating preservation of the product macrostructure. An important aspect of frozen product quality is its safety upon defrostation. In particular, the control of microbiological indicators and the related water activity value is necessary.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гурский, И. А., Ландиховская А. В., Творогова, А. А. (2022). Размороженные продукты с сохраненной микро- и макроструктурой. *Пищевые системы*, 5(3), 195–201. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-195-201>

FOR CITATION: Gurskiy, I. A., Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A. (2022). Defrosted products with preserved micro- and macrostructure. *Food Systems*, 5(3), 195–201. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-195-201>

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. 075–01190–22–00 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Популярность готовых продуктов питания, подвергнутых замораживанию с целью увеличения сроков годности, растет во всем мире. Наибольший интерес представляют продукты высокой степени готовности, требующие подогрева или размораживания перед употреблением — их применение значительно сокращает время приготовления пищи. К видам такой продукции относятся готовые первые и вторые блюда, хлеб и хлебобулочные изделия, национальные блюда некоторых азиатских стран, торты и пирожные, замороженные взбитые десерты. Несмотря на различия в технологии приготовления, все вышеперечисленные продукты хранятся при отрицательных температурах.

Замораживание является одним из способов повышения безопасности и сроков годности пищевой продукции за счет предотвращения роста микроорганизмов, вызывающих пищевые отравления. Замороженные продукты приобретают большую популярность, что связано с развитием холодильной цепи. Однако в процессе замораживания молочной продукции могут произойти изменения в структуре продукта, а также в содержании биологически активных веществ и витаминов.

Предприятия общественного питания и магазины также пользуются технологиями замораживания готовых блюд, в частности обедов и ужинов. Продукты питания, предварительно прошедшие тепловую обработку, замораживаются до температуры минус 30 °С, которую они сохраняют до использования, после чего размораживаются до + 5 °С. При такой температуре их хранят до употребления и до последующего подогрева. Однако рост кристаллов льда, гидролиз и окисление жиров, происходящие в структуре продуктов, сказываются на качестве замороженных готовых блюд и ограничивают сроки хранения такого вида продукции [1,2].

Для потребителей важны органолептические показатели продуктов, стоимость и удобство их приготовления [3].

На качество размороженного продукта влияют: состояние готового блюда и его компонентов до замораживания, технология изготовления продукта, способы его замораживания и размораживания, а также условия хранения и реализации в торговых сетях. Размораживание готовых изделий приводит к изменению их структуры и других органолептически значимых показателей продукта, а также оказывает влияние на микробиологические показатели. Все отмеченное создает предпосылки для изучения показателей качества и безопасности продуктов, начиная с используемых компонентов и заканчивая условиями реализации изделия.

Особое место на рынке замороженных продуктов занимают их разновидности с сохраненной микро- и макроструктурой. Состояние макроструктуры замороженных продуктов в значительной степени определяется внешним видом и способностью изделия сохранять первоначальную форму. Микроструктура замороженных продуктов, к которым относят муссы и различного рода десерты, представлена воздушной фазой, состояние и дисперсность которой определяет не только форму (внешний вид), но и консистенцию продукта.

Целью данного обзора была оценка актуальности производства продукции, с целенаправленно создаваемой и сохраняемой после размораживания микро- и макроструктурой.

2. Кисломолочные десерты

2.1. Размороженные кисломолочные десерты: особенности производства

Среди замороженных взбитых десертов к продуктам, в которых наиболее сложно сохранить структуру, относятся кисломолочные десерты, изготавливаемые по технологии кисломолочного мороженого.

В соответствии с данными Росстата, одну из доминирующих позиций на рынке продуктов питания в России занимает производство кисломолочной продукции: йогуртов, творожных изделий, ряженки, сметаны и др. Повышенный спрос на кисломолочную продукцию в большом объеме связан с ее пищевой и биологической ценностью. Кисломолочные продукты оказывают положительное воздействие на желудочно-кишечный тракт, облегчают синдром раздраженного кишечника, влияют на сердечно-сосудистые заболевания, на артериальную гипертензию и липиды крови, а также снижают риск возникновения онкологических заболеваний, диабета, метаболического синдрома, лактазной недостаточности и нарушений костной системы [4].

Однако кисломолочные продукты характеризуются непродолжительным сроком годности. Замораживание продуктов с целью увеличения времени их хранения приводит к необратимым изменениям в структуре изделий. Специально разработанные кисломолочные десерты, изготавливаемые по технологии мороженого, после размораживания сохраняют свою исходную структуру. Размороженные кисломолочные десерты могут производиться как продукция функциональной направленности. За счет многокомпонентности состава в этих продуктах можно увеличить количество полезных нутриентов (белков, витаминов, пищевых волокон и др.) или уменьшить содержание нутриентов, недопустимых для потребления отдельными лицами (лактоза, сахароза, жиры и др.) [5]. Данную категорию продукции можно рекомендовать к потреблению практически всем группам населения, а также добавлять в меню в профилакториях, санаториях и других подобных организациях [6].

2.2. Аспекты производства взбитых размороженных десертов

Взбитые десерты целесообразно производить в соответствии с технологией мороженого, предусматривающей одновременное проведение процессов насыщения продукта воздухом и частичного замораживания на фризере специально приготовленной смеси. Данная технология состоит из нескольких этапов: для начала (на первой стадии) проводится смешивание сырьевых компонентов, их подогрев до температуры + 45 °С для лучшего растворения. Затем осуществляется гомогенизация смеси для диспергирования жировых частиц при температуре + 65 °С и давлении 10–22 МПа на первой ступени (в зависимости от массовой доли жира) и 4–5 МПа на второй ступени. Следующий этап — пастеризация смеси для уничтожения патогенной микрофлоры при температуре + 85 °С на протяжении 3–5 минут, после чего смесь охлаждают до + 20 °С и фризуют до температуры минус 5 °С. Далее происходит закалывание продукта при температуре минус 30 °С; для хранения изделия требуется температура не выше минус 18 °С [7]. Помимо использования технологии мороженого, при производстве десертов возможно применение метода их предварительного взбивания с последующим замораживанием. Такая технология для

создания подобной продукции не рассматривалась ранее, и этот факт позволяет провести ряд исследований в данном направлении.

Одним из основных аспектов в производстве аэрированных размороженных десертов является подбор компонентов для их изготовления: источников сухих веществ молока (молоко и молочная продукция), сахаров (сахароза, фруктоза) и стабилизирующих компонентов (стабилизаторы и эмульгаторы). Используемые стабилизаторы должны обладать хорошо выраженными желеобразующими свойствами, обуславливающими способность продукта сохранять форму порций в замороженном и размороженном состояниях, а также удерживать влагу после размораживания, образовывать вязкие гели, способствующие формированию высокодисперсной воздушной фазы. Кроме того, данные компоненты должны быть технологически функциональными на стадиях производственного процесса. Эмульгаторы, в свою очередь, должны создавать более гладкую текстуру продукта за счет структурирования жира и повышать способность смеси к насыщению воздухом [8].

Жиры оказывают значимое влияние на текстуру десерта: снижают риск появления сильно выраженного охлаждающего эффекта, твердости, ломкости и усадки при хранении. Также молочный жир играет важную роль в профилировании вкуса, поскольку он является основным его носителем, благодаря содержанию низкомолекулярных жирных кислот (масляной, капроновой и др.). Кроме того, жир является носителем вкуса и аромата пищевкусковых продуктов и ароматических летучих соединений, формирует гладкую и кремообразную текстуру [9].

Белки, как и жир, являются основными нутриентами пищи, обуславливающими ее пищевую ценность, а также имеют значимое влияние на структуру готового десерта. Они принимают участие в формировании оболочек на жировых шариках, благодаря чему те приобретают стабильность, способствуют аэрированию и стабилизации пены, представленной в замороженном десерте высокодисперсной воздушной фазой. Это оказывает положительное влияние на консистенцию продукта и способствует снижению ощущения холода при потреблении готового изделия [10].

При изготовлении кисломолочных десертов перед фризацией смесь заквашивают молочнокислыми микроорганизмами (*L. Bulgaricus*, *L. Acidophilus*, *S. Thermophilus* и др.) [11] или же смешивают с уже готовыми кисломолочными продуктами (йогурт, сметана, ряженка и т. д.). В процессе ферментации происходит образование молочной кислоты, в результате чего снижается pH среды, что ведет к разворачиванию, денатурации и агрегации белковых молекул [12]. Изменение структуры белков приводит к увеличению вязкости смеси при их взаимодействии с водой с образованием гелей [13], что оказывает влияние на процесс фризирования и на формирование консистенции и структурных элементов десерта.

Замораживание десертов происходит в два этапа: осуществляется динамическое замораживание и статическое. Динамическое (фризирование) является обязательным этапом производства взбитых замороженных десертов, так как происходит формирование кристаллов льда и насыщение смеси воздухом. При статическом замораживании частично замороженный продукт затвердевает без перемешивания в специальной низкотемпературной среде, предназначенной для быстрого отвода тепла. В процессе замораживания происходят сложные явления: кристаллизация воды, распад и слияние пузырьков воздуха, а также агрегация или частичное слияние жировых шариков [14].

Аэрирование как процесс принудительного насыщения продукта воздухом играет важную роль в процессе изготовления многих пищевых продуктов. В зависимости от продолжительности данного процесса и конечной температуры фризирования, размеры сформированных воздушных ячеек и их дисперсность будут различны [15]. Пузырьки воздуха, находящиеся в продукте, позволяют создать текстуру с улучшенными показателями и привлекательный внешний вид. Насыщенные воздухом продукты характеризуются кремообразной консистенцией. Взбитая структура облегчает процесс пищеварения благодаря улучшению доступа фермента к субстратам [16]. Формирование кристаллов льда является одним из наиболее значимых этапов, так как морфология и размеры кристаллов льда влияют на состояние клеток молочнокислых микроорганизмов в готовом продукте. Уже при фризировании термомеханическое воздействие способствует разрушению и повреждению мембран бактериальных клеток, нарушению их функциональности и снижению их метаболической жизнеспособности [17]. Помимо растущих кристаллов льда, на микроорганизмы также влияет шоковая заморозка, приводящая к повышению концентрации внеклеточных и внутриклеточных растворенных веществ, а также к изменению объема микробных клеток и к их обезвоживанию.

2.3. Изменение структуры десертов при размораживании

Аэрированные кисломолочные десерты, как и мороженое, являются структурированными продуктами, состоящими из нескольких фаз. Составными частями их структуры являются: плазма, кристаллы льда, воздушные пузырьки, жировые шарики, их кластеры и структурированный белок в виде геля [18]. В процессе размораживания происходит изменение всех структурных элементов десерта, что сказывается на его органолептических показателях. К основным элементам структуры, претерпевающим изменения, относятся воздушные пузырьки и кристаллы льда, которые были сформированы в процессе фризирования [19]. Изменение структурных элементов в процессе размораживания оказывает влияние на показатели текстуры, ощущаемые непосредственно при употреблении продукта. К показателям текстуры можно отнести: твердость, липкость, адгезионную силу, кажущийся модуль, восстанавливаемую деформацию и другие [20,21]. Твердость — показатель, характеризующий прочность структуры продукта под воздействием нагрузки, его важно знать для оценки ощущений при пережевывании пищи [22]. Липкость — количественная оценка ощущений, когда продукт зажат между зубами, а восстанавливаемая деформация и модуль упругости позволяют количественно оценить эластичность продукта [23]. В зависимости от дисперсности структурных элементов и их размеров, данные показатели будут либо органолептически приемлемыми, либо нет, что подтверждается рядом зарубежных статей, описывающих исследования текстуры мороженого [24,25]. Кристаллы льда в процессе размораживания плавятся, а при хранении подвергаются перекристаллизации [26], в результате чего такие показатели, как твердость, липкость, модуль упругости, жесткость, адгезионная сила и др., изменяются, снижая качество готового изделия [27]. Увеличение размеров кристаллов льда происходит из-за образования недостаточного числа центров кристаллизации при фризировании, а также ввиду последующей кристаллизации на этих центрах свободной влаги и ее перекристаллизации при колебаниях температуры в процессе хранения. Под действием растущих кристаллов льда в незамороженной плазме (матрице) увеличивается давление внутри пузырьков воздуха, что также ведет к их повреждению и увеличению.

Несмотря на то, что после размораживания продукта кристаллы льда в нем не остаются, их рост необходимо регулировать. Постоянное увеличение размера кристаллов может привести к нежелательным изменениям структуры, а повреждение структуры кисломолочной продукции может привести к большей потере влаги в виде сыворотки, соответственно, и полезных для организма веществ [28]. В результате образования свободной влаги и повышения температуры существенным изменениям также подвержены и пузырьки воздуха: их структура меняется из-за таких процессов, как диспропорционирование и коалесценция [29]. Стабильность пены очень важна во взбитых продуктах, она зависит не только от условий хранения и реализации продукции, но и от нутриентного состава [30]. По данным зарубежных ученых, на стабильность пены таких продуктов, как муссы и десерты на молочной основе, значительное влияние оказывают белки и жиры. Белки как влагоудерживающие вещества способствуют стабильности эмульсии и образованию вязкоупругих межфазных пленок, которые оказывают определенное сопротивление диспропорционированию пузырьков [31]. Агломерированный жир образует матрицу, которая обеспечивает структуру и прочность пены [32]. Однако различные виды белков в разной степени влияют на стабильность пузырьков воздуха. В исследованиях различных белков в производстве мороженого было установлено как снижение, так и увеличение дисперсности воздушной фазы [33]. При этом в размороженных структурированных десертах изменение текстуры при размораживании, а также ее зависимость от структурных элементов изучены не были.

3. Изделия из муки

Развитие индустрии замороженных продуктов, употребляемых после размораживания, характерно для стран с высоким доходом населения, в частности для Китая. В этой стране замораживают готовые к употреблению изделия из муки — лапшу и другие макаронные и хлебобулочные изделия, для которых важно сохранить первоначальный внешний вид (макроструктуру).

3.1. Национальные азиатские продукты

Лапша является традиционным продуктом питания, употребляемым в азиатских странах. Это популярный продукт, пользующийся спросом у населения. Одним из вариантов лапши, представленной на прилавках, является замороженная лапша. Для приготовления лапши используют муку или крахмал с добавлением воды и внесением соли или щелочи в зависимости от рецептуры. Производят различные виды лапши, такие как соленая, желтая щелочная и крахмальная [34]. Применение щелочи (питьевой соды) обусловлено необходимостью сохранения формы изделий из лапши при отваривании и задачей подчеркнуть вкус лапши и вкусовых добавок. Перед замораживанием лапшу отваривают, затем направляют в холодильную камеру на непродолжительное время, поэтому данный вид лапши характеризуется быстротой приготовления: для ее размораживания требуется 1 минута, затем в лапшу добавляют ингредиенты для придания вкуса (соусы и специи). Высокие органолептические показатели лапши в размороженном состоянии повысили спрос на этот продукт, на долю ее производства приходится 45%. Производство замороженной лапши налажено в Японии и Китае [35]. В Японии производится 1,4 млрд упаковок замороженной лапши, в Китае — 2,0–2,5 млрд с ежегодным приростом 10% [36]. Технологический процесс приготовления лапши перед замораживанием также оказывает влияние на ее качество [37].

Вторым продуктом, близким по составу к лапше, производимым в Китае, является китайский паровой хлеб. В Корее популярность набирают замороженные рисовые лепешки [38].

3.2. Изменение структуры замороженной лапши и парового хлеба во время хранения в замороженном состоянии

Учитывая, что лапша и хлеб содержат большое количество крахмала и белка, растворы которых при замораживании подвергаются деструкции, значительная часть исследований посвящена изучению влияния замороженной воды на качество этих продуктов при хранении. Образующиеся кристаллы льда при замораживании и их рост при колебаниях температуры могут физически повреждать белки в продукте. Переход воды в лед оказывает влияние на крахмал, связывающий значительное ее количество, воздействует на дрожжи и закваски, используемые при производстве парового хлеба [34].

В исследовании [39] авторы установили, что при хранении лапши в замороженном состоянии образуется «более грубая структура с крупными порами и прерывистой глютеиновой сетью с мелкими фрагментами». Подвижность воды при этом увеличивается, ее распределение в продукте становится неравномерным, что является причиной роста кристаллов льда. С целью ингибирования роста кристаллов льда возможно внесение дополнительных ингредиентов для улучшения качества продуктов.

В работе [36] изучалось влияние дополнительно вносимого количества глютеина на качество замороженной вареной лапши. Для такого вида лапши желательными характеристиками после второго приготовления являются достаточная твердость в сочетании с упругостью, но после длительного хранения увеличивается ее липкость, что является нежелательным явлением для потребителей. Авторами работы было установлено, что внесение 3% глютеина позволяет получить продукт с наименьшей липкостью поверхности и высокими органолептическими показателями.

Ученые из Китая рассматривали в своем исследовании [40] влияние соевого молока на состояние воды при хранении лапши в замороженном состоянии. Авторы предполагают, что входящие в состав соевого молока белки и полисахариды взаимодействуют с глютеином, что приводит к повышению влагоудерживающей способности и ингибированию роста кристаллов льда.

Авторы исследования [41] изучали влияние курдлан (внеклеточный полисахарид) на агрегацию белка глютеина с целью улучшения качества замороженной лапши. В другой работе [42] оценивали действие курдлан на состояние воды в лапше; установлено, что 0,5% курдлан подавляет подвижность и миграцию воды в продукте.

3.3. Макароны изделия

Изучением свойств и качества замороженных макаронных изделий занимаются и в других странах, помимо Японии и Китая [43]. Авторы работы [44] изучали влияние способов замораживания (заморозка в туннели при подаче воздуха и криогенное замораживание) на качество органической тальятелле, о качестве судили по текстуре и органолептическим показателям. Данные исследования подтверждают, что криогенное замораживание более эффективно. Быстрое замораживание позволяет получить макаронные изделия по качеству, приближенному к свежеприготовленному продукту.

3.4. Хлебобулочные изделия

Приготовленная свежая выпечка и хлеб претерпевают изменения в виде черствения, что характерно также для готового бисквита, являющегося основой для изготовления

тортов [45]. При хранении хлебобулочных изделий в замороженном состоянии происходит ретроградация крахмала. Ранее было установлено, что цикл «замораживание — оттаивание» хлеба эквивалентен суткам черствения при температуре окружающей среды, поскольку максимальная скорость черствения, характерная для температуры 4 °С, наблюдается дважды. Максимальная скорость черствения кондитерских изделий происходит при температуре 25 °С, при температуре 0 °С происходит ее снижение [46].

В соответствии с регламентом Европейского Союза № 1169/2011, существует необходимость информирования покупателя о том, что продукт размороженный. Данное правило не распространяется в том случае, если производитель сможет доказать, что размораживание не сказалось на качестве и безопасности продукта. Учитывая это требование, в работе [47] изучали микробиологическую безопасность и органолептические изменения типичных бельгийских изделий: хлебобулочных изделий, сэндвичей, бисквита и пирога после временного замораживания (от 2 до 4 дней, в зависимости от вида продукции).

В исследовании [48] установлено, что внесение 0,3% и 0,5% гуаровой камеди в тесто увеличивает устойчивость к замораживанию и оттаиванию замороженных приготовленных овсяных булочек.

4. Безопасность размороженных продуктов

Одними из важнейших показателей готового продукта являются их показатели безопасности. К показателям безопасности относятся косвенные микробиологические показатели (КМАФАнМ, плесневые грибы, дрожжи), санитарно-показательные микроорганизмы (БГКП, протей, клостридии) условно-патогенные и патогенные микроорганизмы (листерии, золотистый стафилококк, синегнойная палочка и др.), содержание токсичных элементов (свинец, мышьяк, кадмий), пестицидов (ГХЦГ, ДДТ), микотоксинов (афлатоксин), а также показатели окислительной порчи (кислотное, анизидиное, перекисное числа и др.). Различные группы микроорганизмов растут в соответствующих своему оптимуму роста температурных диапазонах. Психрофильные группы микроорганизмов развиваются при температуре от 15 до 20 °С, в наибольшей степени их развитию способствует температура около 10 °С. Психротрофные микроорганизмы обычно растут при температуре от минус 5 до плюс 35 °С. Наиболее быстрый их рост происходит между 20 и 30 °С. Мезофильные микроорганизмы характеризуются тенденцией роста между 10 и 35 °С и быстрее всего развиваются при температуре 30 °С. Термофильные микроорганизмы, как правило, растут при температуре от 40 °С до 90 °С и быстрее всего между 55 °С и 66 °С. В более общем плане большинство патогенных микроорганизмов способны расти при температуре от 8,0 °С до 63,0 °С, по этой причине данный диапазон температур называется «опасной зоной». В связи с чем, необходимо употребить продукт в течение 24 ч после размораживания [49].

Если на токсичные элементы, пестициды и микотоксины процесс размораживания не оказывает влияния, то микробная обсемененность может увеличиться, т. к. при повышении температуры продукта снижается количество вымороженной влаги, что ведет к увеличению активности воды; температура оптимума также окажется благоприятной для развития микробов. Различные микроорганизмы имеют разные требования к показателю активности воды. Грамотрицательным микроорганизмам требуются для роста минимальные значения данного показателя от 0,96 до 0,93, в то время как грамположительные, не образующие спор организмы, могут расти при более низких значениях активности воды от 0,85 до 0,94 [50].

Кроме того, повышение температуры приведет к ускорению биохимических реакций, в результате чего окислительная порча будет происходить значительно быстрее. В первую очередь окисление жирных кислот под действием кислорода воздуха вызывает накопление перекисных и карбонильных соединений. Более глубокое окисление триацилглицеридов сопровождается образованием перекисных соединений, альдегидов, кетонов и др. [51]. При этом в продукте появляются посторонние привкусы и запахи. Также альдегиды и кетоны могут быть цитотоксическими, мутагенными и канцерогенными, что негативно скажется на здоровье потребителя [52]. Соответственно, необходимо контролировать температуры, при которых продукт будет не только храниться, но и реализовываться в размороженном виде.

5. Выводы

На основании изложенного можно сделать вывод, что сохранность микро- и макроструктуры в размороженных продуктах в значительной степени обеспечивается технологиями их производства и композиционным составом.

Размороженные кисломолочные десерты являются продуктами со сложной микроструктурой, качество и безопасность которых зависит от разных факторов. Для обеспечения высокого качества продукта в размороженном состоянии, включая стабильность микроструктуры, необходимо контролировать показатели смеси и готового десерта, а также состояние его структурных элементов до и после размораживания. Важно строго соблюдать все условия хранения и реализации этого продукта во избежание ухудшения его текстуры.

При изготовлении макаронных и хлебобулочных изделий применяются технические решения по сохранению их потребительских характеристик в размороженном состоянии. С этой целью исследуются и определяются факторы, влияющие на их макроструктуру, в частности состояние кристаллов льда и белков. Проводятся исследования с целью обоснования мер по сохранению структуры и органолептических показателей размороженных продуктов.

Для всех видов продукции после размораживания важной задачей считается обеспечение микробиологической безопасности, особенно для изделий, не подвергаемых перед употреблением дополнительной термической обработке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Bekhit, A. E., Roohinejad, S. (2016). Cook-chilled and cook-frozen foods. Chapter in a book: Reference module in food science. Amsterdam: Elsevier. 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03348-5>
2. Kumar, P. K., Parhi, A., Sablani, S. S. (2021). Development of high-fiber and sugar-free frozen pancakes: Influence of state and phase transitions on the instrumental textural quality of pancakes during storage. *LWT*, 146, Article 111454. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111454>
3. Costa, A. I. d A., Schoolmeester, D., Dekker, M., Jongen, W. M. F. (2007). To cook or not to cook: A means-end study of motives for choice of meal solutions. *Food Quality and Preference*, 18(1), 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.08.003>
4. Savaiano, D. A., Hutkins, R. (2020). Yogurt, cultured fermented milk, and health: a systematic review. *Nutrition Reviews*, 79, 599–614. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa013>
5. Gurskiy I., Tvorogova. A. (2022, 14–15 April). Study of the consistency of defrosted aerated fermented milk desserts by rheological methods. Directed Transformation of Alimentary Raw Materials in the Production of Food-stuffs, Food and Biologically Active Additives, Ensuring Quality Control

- and Safety (DTARM 2022), Krasnodar, Russia. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224601003>
6. Cruz, A. G., Antunes, A. E., Sousa, A. L., Faria, J. D., Saad, S. M. (2009). Ice-cream as a probiotic food carrier. *Food Research International*, 42(9), 1233–1239. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.020>
 7. Mule, S. M., Kadam, S. S., Dandekar, V. S., Ramod, S. S., Desai, B., Narkhede, S. L. (2020). Manufacturing technology and production cost of ginger (*Zingiber officinale* L.) and Aloe vera (*Aloe barbadensis*) juice enriched probiotic (*L. acidophilus*) ice cream. *International Journal of Chemical Studies*, 8(2), 185–188. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i2c.8765>
 8. Loffredi, E., Moriano, M. E., Masseroni, L., Alamprese, C. (2021). Effects of different emulsifier substitutes on artisanal ice cream quality. *LWT*, 137, Article 110499. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110499>
 9. Akbari, M., Eskandari, M. H., Davoudi, Z. (2019). Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.036>
 10. Goff, H. D. (2016). Milk proteins in ice cream. Chapter in a book: *Advanced Dairy Chemistry*. Springer, New York, NY, 2016. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2_13
 11. Hussein, Z. El H., Silva, J. M., Alves, E. S., Castro, M. C., Ferreira, C. S. R., Chaves, M. L. C. et al. (2021). Technological advances in probiotic stability in yogurt: a review. *Research, Society and Development*, 10(12), Article e449101220646. <http://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20646>
 12. Tarhan, Ö., Kaya, A., Gözler, M. (2021). Effect of fermentation on the milk allergen proteins during yogurt-making. *Usak University Journal of Engineering Sciences*, 4(2), 94–103. <https://doi.org/10.47137/uujes.1032643>
 13. Dahlana, H. A., Sania, N. A. (2017). The interaction effect of mixing starter cultures on homemade natural yogurt's pH and viscosity. *International Journal of Food Studies*, 6(2), 152–158. <https://doi.org/10.7455/ijfs/6.2.2017.a3>
 14. Masuda, H., Sawano, M., Ishihara, K., Shimoyamada, M. (2020). Effect of agitation speed on freezing process of ice cream using a batch freezer. *Journal of Food Process Engineering*, 43(4), Article e13369. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13369>
 15. Giudici, P., Baiano, A., Chiari, P., De Vero, L., Ghanbarzadeh, B., Falcone, P. M. (2021). A Mathematical modeling of freezing process in the batch production of ice cream. *Foods*, 10(2), Article 334. <https://doi.org/10.3390/foods10020334>
 16. Bikos, D. A., Samaras, G., Cann, P., Masen, M. A., Hardalupas, Y., Hartmann, C. et al. (2021). Effect of micro-aeration on the mechanical behaviour of chocolates and implications for oral processing. *Food and Function*, 12(11), 4864–4886. <https://doi.org/10.1039/d1fo00045d>
 17. Kemsawad, V., Chaikham, P. (2020). Effects of frozen storage on viability of probiotics and antioxidant capacities of synbiotic riceberry and sesame-riceberry milk ice creams. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 8(1), 107–121. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.1.10>
 18. Warren, M. M., Hartel, R. W. (2018). Effects of emulsifier, overrun and dasher speed on ice cream microstructure and melting properties. *Journal of Food Science*, 83(3), 639–647. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13983>
 19. Duquenne, B., Vergauwen, B., Capdepon, C., Boone, M. A., De Schryver, T. D., Van Hoorebeke, L. V. et al. (2016). Stabilising frozen dairy mousses by low molecular weight gelatin peptides. *Food Hydrocolloids*, 60, 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.001>
 20. Srinu, D., Baskaran, D., Dora, R. P. (2022). Physico-chemical and texture analysis of ice cream prepared by incorporating various spices. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 41(1), 28–32. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.dr-1715>
 21. Buriti, F. C. A., Castro, I. A., Saad, S. M. I. (2010). Effects of refrigeration, freezing and replacement of milk fat by inulin and whey protein concentrate on texture profile and sensory acceptance of synbiotic guava mousses. *Food Chemistry*, 123(4), 1190–1197. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.085>
 22. Farhah, A. N., Ekantari, N. (2019, 8–9 July). *Combination of sodium alginate and Kappa-Carrageenan increases texture stability of spirulina platens is ice cream*. The 3rd International Symposium on Marine and Fisheries Research (3rd ISMFR), Yogyakarta, Indonesia. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014703006>
 23. Shirvani, M., Ghanbarian, D., Ghasemi-Varnamkhashi, M. (2014). Measurement and evaluation of the apparent modulus of elasticity of apple based on Hooke's, Hertz's and Boussinesq's theories. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 54, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.014>
 24. Hossain, M. K., Petrov, M., Hensel, O., Diakité, M. (2021). Microstructure and physicochemical properties of light ice cream: Effects of extruded microparticulated whey proteins and process design. *Foods*, 10(6), Article 1433. <https://doi.org/10.3390/foods10061433>
 25. Królczyk, J. B., Dawidziuk, T., Janiszewska-Turak, E., Sołowiej, B. (2016). Use of whey and whey preparations in the food industry – A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(3), 157–165. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0052>
 26. Lomolino, G., Zannoni, S., Zabara, A., Da Lio, M., De Iseppi, A. (2020). Ice recrystallisation and melting in ice cream with different proteins levels and subjected to thermal fluctuation. *International Dairy Journal*, 100, Article 104557. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104557>
 27. Atallah, A. A., Morsy, O. M., Gemiel, D. G. (2020). Characterization of functional low-fat yogurt enriched with whey protein concentrate, Caseinate and spirulina. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1678–1691. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1823409>
 28. Varelziz, P., Adamopoulos, K., Stavarakis, E. K., Stefanakis, A., Goula, A. M. (2016). Approaches to minimise yoghurt syneresis in simulated tzatziki sauce preparation. *International Journal of Dairy Technology*, 69, 191–199. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12238>
 29. Guo, E., Zeng, G., Kazantsev, D., Rockett, P., Bent, J., Kirkland, M. A. et al. (2017). Synchrotron X-ray tomographic quantification of microstructural evolution in ice cream – a multi-phase soft solid. *RSC Advances*, 7(25), 15561–15573. <https://doi.org/10.1039/C7RA00642J>
 30. Ghaderi, S., Mazaheri Tehrani, 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>
 31. 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), 422–435. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00305>
 32. Ho, T. M., Bhandari, B., Bansal, N. (2020). Influence of milk fat on foam formation, foam stability and functionality of aerated dairy products. Chapter in a book: *Dairy Fat Products and Functionality*. Springer, Cham. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41661-4_24
 33. Moschopoulou, E., Dernikos, D., Zoidou, E. (2021). Ovine ice cream made with addition of whey protein concentrates of ovine-caprine origin. *International Dairy Journal*, 122, Article 105146. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105146>
 34. Zhu, F. (2021). Frozen steamed breads and boiled noodles: Quality affected by ingredients and processing. *Food Chemistry*, 349, Article 129178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129178>
 35. Obadi, M., Zhang, J., Shi, Y., Xu, B. (2021). Factors affecting frozen cooked noodle quality: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 662–673. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.033>
 36. Wang, Y.-H., Zhang, Y.-R., Yang, Y.-Y., Shen, Jin-Q., Zhang, Q.-M., Zhang, G.-Z. (2022). Effect of wheat gluten addition on the texture, surface tackiness, protein structure, and sensory properties of frozen cooked noodles. *LWT*, 161, Article 113348. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113348>
 37. Wang, Y.-H., Zhang, Y.-R., Xu, F., Zhang, Y.-L. (2020). Effect of boiling and steaming on the surface tackiness of frozen cooked noodles. *LWT*, 130, Article 109747. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109747>
 38. Ku, S.-K., Hong, J.-S., Choi, H.-D., Park, J.-D., Kim, Y.-B., Choi, H.-W. et al. (2018). A study of the quality characteristics of frozen Korean rice cake by using different thawing methods. *Food Science and Biotechnology*, 27(5), 1343–1351. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0376-3>
 39. Liu, Q., Guo, X.-N., Zhu, K.-X. (2019). Effects of frozen storage on the quality characteristics of frozen cooked noodles. *Food Chemistry*, 283, 522–529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.068>
 40. He, L.-D., Guo, X.-N., Zhu, K.-X. (2019). Effect of soybean milk addition on the quality of frozen-cooked noodles. *Food Hydrocolloids*, 87, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.048>
 41. Liu, H., Liang, Y., Chen, Z., Liu, M., Qu, Z., He, B. et al. (2021). Effect of curdland on the aggregation behavior of gluten protein in frozen cooked noodles during cooking. *Journal of Cereal Science*, 103, Article 103395. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103395>
 42. Liang, Y., Qu, Z., Liu, M., Zhu, M., Zhang, X., Wang, L. et al. (2020). Further interpretation of the strengthening effect of curdland on frozen cooked noodles quality during frozen storage: Studies on water state and properties. *Food Chemistry*, 346, Article 128908. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128908>
 43. Redmond, G. A., Gormley, T. R., Butler, F. (2005). Effect of short- and long-term frozen storage with MAP on the quality of freeze-chilled lasagne. *LWT – Food Science and Technology*, 38(1), 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.012>
 44. Olivera, D. F., Salvadori, V. O. (2009). Effect of freezing rate in textural and rheological characteristics of frozen cooked organic pasta. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.041>
 45. Díaz-Ramírez, M., Calderón-Domínguez, G., Salgado-Cruz, M. D. L. P., Chanona-Pérez, J. J., Andraca-Adame, J. A., Ribotta, P. D. (2016). Sponge cake microstructure, starch retrogradation and quality changes during frozen storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(8), 1744–1753. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13081>
 46. Cauvain, S. (1998). Improving the control of staling in frozen bakery products. *Trends in Food Science and Technology*, 9(2), 56–61. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00003-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00003-X)
 47. Van Bockstaele, F., Debonne, E., De Leyn, I., Wagemans, K., Eeckhout, M. (2021). Impact of temporary frozen storage on the safety and quality of four typical Belgian bakery products. *LWT*, 137, Article 110454. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110454>
 48. Gong, Y., Dong, R., Zhang, K., Li, Y., Hu, X. (2021). The modulatory effect of guar gum on freeze-thaw stability of cooked oat roll. *Food Hydrocolloids for Health*, 1, Article 100032. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2021.100032>
 49. FSA (Food Standards Agency). (2000). The effects of consumer freezing of food on its use-by date. Retrieved from <https://www.food.gov.uk/sites/default/files/media/document/the-effects-of-consumer-freezing-of-food-on-its-use-by-date.pdf>. Accessed May 20, 2022. <https://doi.org/10.46756/SCI.FSA.RET874>

50. Tapia, M. S., Alzamora, S. M., Chirife, J. (2020). Effects of Water Activity (a_w) on Microbial Stability as a Hurdle in Food Preservation. Chapter in a book: Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 2020. <https://doi.org/10.1002/9780470376454.CH10>
51. Yatsenko, O., Yushchenko, N., Kuzmyk, U., Pasichnyi, V., Kochubei-Lytvynenko, O., Frolova, N. et al. (2020). Research of milk fat oxidation processes during storage of butter pastes. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 14, 443–450 <https://doi.org/10.5219/1283>
52. Sinharoy, P., McAllister, S. L., Vasu, M., Gross, E. R. (2019). Environmental aldehyde sources and the health implications of exposure. *Advances in Experimental Medicine and biology*, 1193, 35–52. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6260-6_2

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Игорь Алексеевич Гурский — младший научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, 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 * автор для контактов	Igor A. Gurskiy , Junior Researcher, Ice Cream Technology Laboratory, 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 * corresponding author
Ландиховская Анна Валентиновна — младший научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, г. Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: anna.landih@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5881-2309	Anna V. Landikhovskaya , Junior Researcher, Ice Cream Technology Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostykova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: anna.landih@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5881-2309
Творогова Антонина Анатольевна — доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, г. Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: antvogova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7293-9162	Antonina A. Tvorogova , Doctor of Technical Sciences, Docent, Chief Researcher, Ice Cream Technology Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostykova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: antvogova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7293-9162
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/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211>

Поступила 05.07.2022

Поступила после рецензирования 27.07.2022

Принята в печать 02.08.2022

© Петрунина И. В., Горбунова Н. А., 2022

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

СИСТЕМНЫЕ МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ. ОБЗОР

Петрунина И. В., Горбунова Н. А.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

парниковые газы, метан,
аммиак, жвачные животные,
кормовые добавки

АННОТАЦИЯ

В статье приведен обзор различных подходов к решению проблем, возникающих при выделении парниковых газов от деятельности животноводческих хозяйств. Сектор животноводства жвачных животных находится под пристальным вниманием по экологическим соображениям из-за его значительного вклада в выбросы кишечного метана (CH_4) и влияния на глобальное изменение климата. При этом дан анализ основных источников выброса метана в сельскохозяйственном секторе АПК, в том числе — по видам домашнего скота и птицы. Оценено влияние системы кормления, используемых кормов и кормовых добавок, хранения навоза на потери азота. В этой связи рассмотрен ряд перспективных научных и практических разработок, направленных на снижение выбросов и выработку стратегии борьбы с прямыми выбросами парниковых газов (ПГ) в животноводстве, которые не ставят под угрозу продуктивность животных, особенно в контексте цели устойчивого развития. Были рассмотрены практические действия, предусматривающие выработку комплекса мер по снижению выбросов парниковых газов. Потенциальные стратегии смягчения их последствий были разделены на следующие основные категории: разведение животных, изменение рационов их кормления и манипуляции с рубцом. Также был предпринят ряд других мер, способствующих повышению продуктивности скота и снижению негативного воздействия на природную среду. Рассмотрены эколого-экономические методики оценки выбросов вредных газов при производстве животноводческой продукции и отмечена необходимость разработки более простых экономически эффективных технологий для количественной оценки выбросов парниковых газов и с целью поиска решений для сохранения благоприятного климата. При оценке выбросов вредных газов учитываются размеры потерь и совокупный экологический ущерб. Реализация стратегий по сокращению выбросов должна привести к повышению продуктивности животных и к снижению негативного влияния животноводства на природную среду.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию НИР № FNEN-2019-0005 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 05.07.2022

Accepted in revised 27.07.2022

Accepted for publication 02.08.2022

© Petrunina I. V., Gorbunova N. A., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

SYSTEMIC MEASURES ON REDUCTION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN ANIMAL HUSBANDRY ENTERPRISES. A REVIEW

Irina V. Petrunina, Nataliya A. Gorbunova

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

KEY WORDS:

greenhouse gases, methane,
ammonia, ruminant animals,
feed additives

ABSTRACT

The paper presents a review of different approaches to solving problems arising upon greenhouse gas emission from activities of animal husbandry enterprises. The sector of ruminant animal production is under close attention for ecological reasons due to its significant contribution to emission of enteric methane (CH_4) and an effect on global climate change. Moreover, analysis of the main sources of methane emission in the agricultural sector of the agro-industrial complex, including by species of livestock and poultry, is given. An impact of a feeding system, feeds and feed additives in use and manure storage on nitrogen losses is estimated. In this connection, the authors examine several promising scientific and practical development results that are aimed to reducing emissions and formulating a strategy for controlling direct emissions of greenhouse gases in animal husbandry that do not jeopardize animal productivity, especially in the context of sustainability. Practical activities that envisage the development of the complex of measures for reduction of greenhouse gas emissions are examined. Potential strategies for mitigating their consequences were divided into the following main categories: animal raising, changes in animal diets and manipulations with rumen. Furthermore, several other measures facilitating an increase in livestock productivity and reduction of the negative effect on the environment were taken. Eco-economic methods for assessing emissions of harmful gases in production of animal husbandry products are considered and the necessity of developing simpler cost-effective technologies for quantitative assessment of greenhouse gas emissions and a search for solutions to preserve favorable climate is emphasized. When

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Петрунина, И. В., Горбунова, Н. А. (2022). Системные меры по снижению выбросов парниковых газов в животноводческих хозяйствах. Обзор. *Пищевые системы*, 5(3), 202-211. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211>

FOR CITATION: Petrunina, I. V., Gorbunova, N. A. (2022). Systemic measures on reduction of greenhouse gas emissions in animal husbandry enterprises. A review. *Food Systems*, 5(3), 202-211. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211>

assessing greenhouse gas emissions, the loss sizes and cumulative ecological damage are taken into account. Realization of strategies for emission reduction should lead to an increase in animal productivity and a decrease in the negative effect of animal husbandry on the environment.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-2019-0005 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Производственная деятельность, связанная с содержанием жвачных животных, предполагает необходимость решения проблемы сокращения выбросов парниковых газов (далее — ПГ) при одновременном увеличении производства мяса и молока для удовлетворения потребительского спроса. Интенсификация соответствующих производств в определенной мере снижает выбросы ПГ на единицу продукции, но в ряде случаев приводит к увеличению общего объема их выбросов [1].

На диаграмме 1 указаны основные источники выброса метана, на диаграмме 2 приведены выбросы метана в сельскохозяйственном секторе (Рисунок 1).

Около 50% выбросов метана происходят из антропогенных источников, которые включают сельскохозяйственную деятельность. Общая глобальная оценка антропогенных выбросов приближается к 320 млн тонн в год [3].

При этом основными источниками эмиссии парниковых газов на этапе выращивания животных являются выбросы метана из их пищеварительного тракта, а также закиси азота из навоза [4].

Следует учитывать, что физиология крупного рогатого скота существенно отличается от физиологии свиней и птицы. При производстве говядины выделяется в 4 раза больше

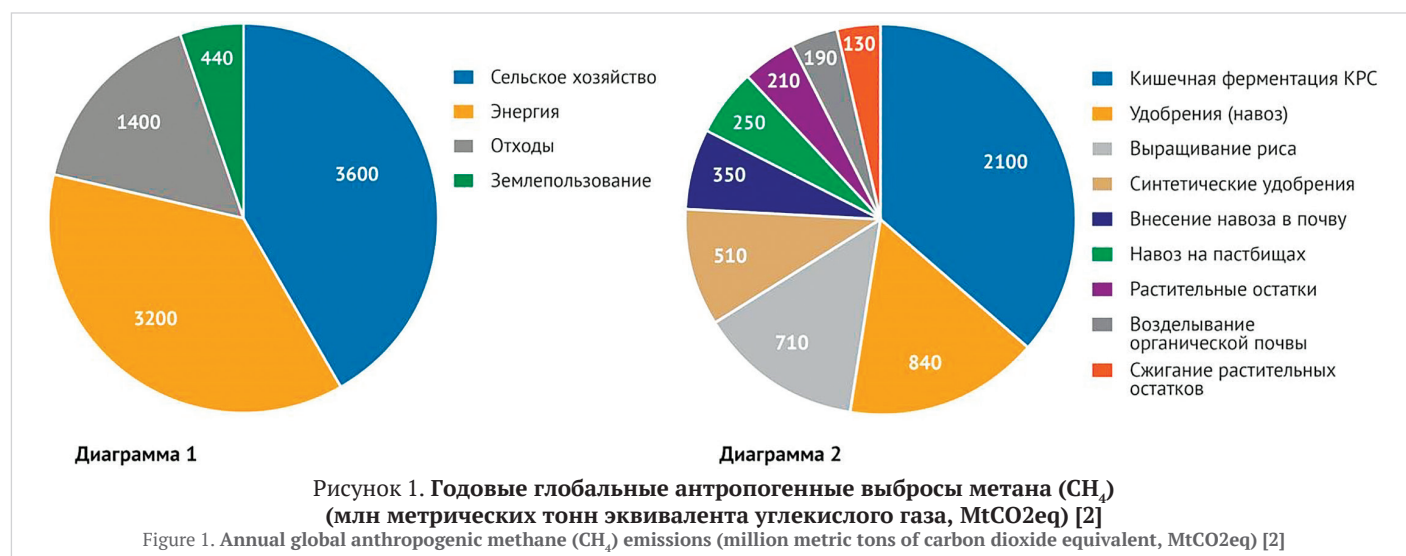
ПГ в расчете на калорийность мяса по сравнению с таким же объемом свинины. Это количество также превышает соответствующие показатели птицы в 5 раз [5].

Ниже (Рисунок 2) приведена схема выбросов ПГ по видам домашнего скота и птицы.

Анализ приведенной схемы показывает, что большая часть выбросов в секторе животноводства приходится на КРС — 62%, что составляет около 5 млн тонн в CO_2 -эквиваленте. Эта цифра примерно поровну делится между молочным и мясным скотом. Уровень выбросов, источником которых является разведение свиней, птицы, буйволов и мелких жвачных, гораздо ниже — примерно от 7 до 11% от суммарных выбросов данного сектора.

Уменьшить образование метана в пищеварительной системе животных можно за счет использования различных кормовых добавок, антибиотиков и вакцин, а также посредством включения в рацион питания крупного рогатого скота высококачественных грубых кормов [6,7].

Кроме того, снижение объемов и интенсивности выбросов можно обеспечить за счет внедрения современных методов повышения продуктивности животных. Этот подход является достаточно привлекательной стратегией, поскольку одновременно увеличивает прибыль фермерских хозяйств [8].



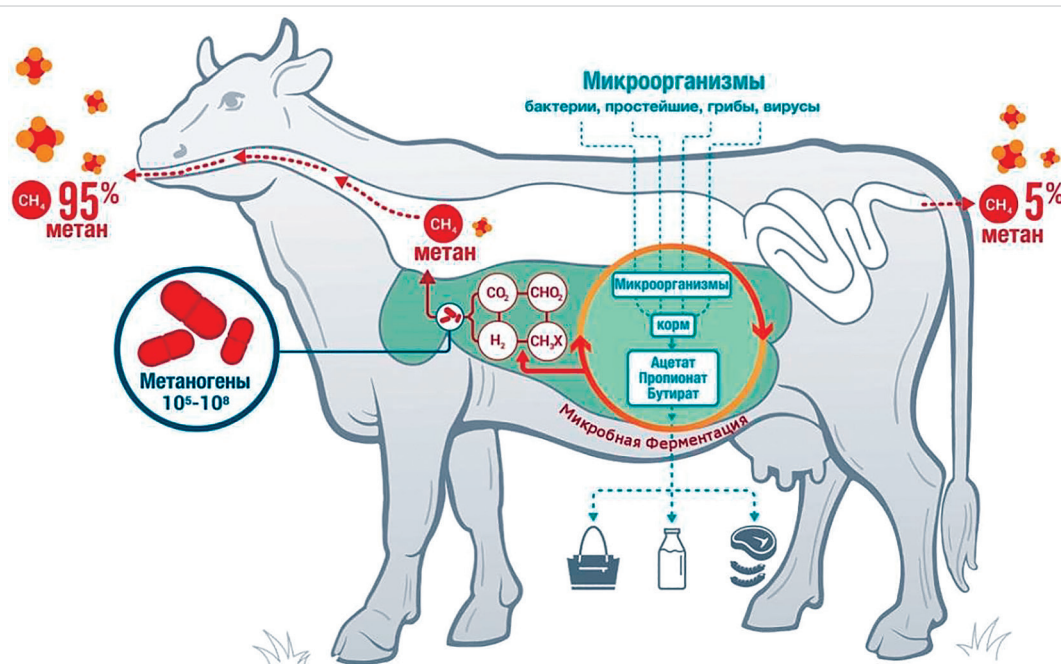


Рисунок 3. Пищеварительный процесс КРС с выделением метана

Figure 3. Digestive process in cattle with methane emission

2. Основная часть

Сокращение выбросов ПГ от разведения жвачных животных является достаточно сложной, а также актуальной задачей по причине растущего спроса на мясо и молоко [9]. Одним из методов сокращения выбросов является повышение эффективности ферментации рубца и увеличение продуктивности животных. В рамках этих подходов предлагается несколько вариантов действий, имеющих различную эффективность снижения образующего энтерального метана. К ним, в частности, относятся: изменение рационов питания, применение специальных вакцин и химических добавок, осуществление генетической селекции животных и другие меры.

Следует уточнить, что энтеральная ферментация является естественной частью пищеварительного процесса жвачных животных, когда бактерии, простейшие и грибы, содержащиеся в передней части желудка животного (рубец), ферментируют и расщепляют растительную биомассу, съеденную животным.

На Рисунке 3 схематично показан данный пищеварительный процесс на примере крупного рогатого скота.

Растительная биомасса в рубце преобразуется в летучие жирные кислоты, которые проходят через стенку рубца и по кровеносной системе попадают в печень. Этот процесс обеспечивает большую часть энергетических потребностей животного и позволяет достичь высокой эффективности преобразования целлюлозы и полужелудочной, характерной для жвачных животных. Газообразные отходы энтеральной ферментации, углекислый газ и метан, удаляются из рубца отрыжкой. Выделение метана в ретикулуме¹ является эволюционной адаптацией, позволяющей экосистеме рубца утилизировать водород, который в противном случае может накапливаться и препятствовать ферментации углеводов и разложению клетчатки [10].

¹ Эндоплазматический ретикулум (ЭПР) (лат. reticulum — сеточка) или эндоплазматическая сеть — внутриклеточный органоид эукариотической клетки, представляющий собой разветвленную систему из окружающих мембраной уплощенных полостей, пузырьков и канальцев. ЭПР не является стабильной структурой и подвержен частым изменениям.

2.1. Роль кормов и кормовых добавок для сокращения энтерального метана

Интенсивные системы ротационного выпаса являются хорошим способом увеличения производства кормов и снижения выбросов оксида азота. Для этих систем характерно наличие нескольких небольших полей, называемых пастбищными участками (загонами), для ротации скота. Разделяя пастбища и чередуя животных, можно управлять плотностью поголовья и продолжительностью выпаса, тем самым регулируя распределение азотных выделений и восстанавливать растительность на определенных участках. В частности, более равномерное распределение мочи скота по всей площади пастбища снижает на нем концентрацию азота [11]. Кроме того, если не выпускать животных с пастбищ во время влажной погоды, это сокращает механические повреждения почвы.

Интенсивность выделения энтерального метана варьируется в зависимости от объема потребления корма, его качества и скорости перевариваемости.

Содержание лигнина² увеличивается во время роста растений, последовательно снижая их перевариваемость при употреблении их в пищу. Поэтому уборка кормовых растений для силосования на более ранней стадии их созревания повышает содержание растворимых углеводов и снижает содержание лигнина.

По некоторым данным, повышение качества кормов показывает потенциальное снижение энтерального метана примерно на 5% на единицу скорректированного по жиrowому белку молока [12].

Физическая обработка кормов, включая их измельчение, размалывание и обработку паром, также улучшает перевариваемость кормов и снижает выработку энтерального метана у жвачных животных [13].

Улучшение перевариваемости рациона за счет увеличения в нем доли концентратов является еще одной эффектив-

² Лигнин (от лат. lignum — дерево, древесина) — вещество, характеризующее одревесневшие стенки растительных клеток. Сложное полимерное соединение, содержащееся в клетках сосудистых растений и некоторых водорослях.

ной стратегией по снижению выбросов метана — примерно на 15% на единицу нормализованного молока. Однако при применении этого метода необходимо тщательно учитывать соотношение обычных кормов и концентратов. Так, заметного снижения энтерального метана можно ожидать при использовании концентратов от 35% до 40% в общем объеме кормовой смеси [14].

Такие кормовые добавки, как *electron receptors*, *ionophoric antibiotics*, *chemical inhibitors*, были успешно протестированы на их способность снижать выбросы метана [15]. Однако следует обратить внимание на недостаточное изучение возможной токсичности, возникающей при использовании некоторых из указанных соединений. Это повышает риски для здоровья животных и затрудняет широкое применение упомянутых добавок [16].

Добавление жиров или жирных кислот в рацион жвачных животных может снизить энтеральные выбросы метана как за счет уменьшения доли энергии, поступающей из ферментируемых углеводов, так и за счет изменения микробной популяции рубца [17].

Хотя некоторые побочные продукты (например, хлопковое семя, пивная дробина, шрот холодного отжима канолы и т. д.) эффективны для снижения энтеральной ферментации, потенциал смягчения воздействия побочных продуктов с высоким содержанием масла не является устойчивым, и в некоторых случаях производство метана может увеличиться из-за повышенного потребления клетчатки.

Целесообразно упомянуть о швейцарско-британской компании Mootral, которая разработала добавку, сокращающую выбросы метана в среднем на 30%. Эта добавка основана на экстрактах чеснока и цитрусовых. Ее нужно смешивать с обычным кормом для крупного рогатого скота. Попадая в желудок животного, специальные вещества препятствуют образованию метана микробами. Компания планирует протестировать свою добавку на фермах США. Если не будет выявлено отрицательного влияния на здоровье соответствующих видов животных, то указанная разработка может стать весьма востребованной [18]. Сейчас добавка используется на нескольких фермах в Англии и помогает фермерам не только снизить выбросы, но и заработать так называемые «углеродные кредиты», которые можно продать более крупным компаниям, получая с этого определенную прибыль. Поясним, что «углеродный кредит» является особой формой разрешения государственных органов на выделение парниковых газов при осуществлении соответствующей деятельности. При нарушении допустимых объемов приходится платить огромные штрафы. Поэтому фирмы часто выкупают такие кредиты у предпринимателей, имеющих более экологичные производства.

Также выбросы метана, выделяемые в результате кишечной ферментации жвачных, можно снизить с помощью нескольких способов оптимизации кормления, в том числе путем уменьшения в кормах целлюлозы в сочетании с повышением энергетической ценности корма для КРС [19].

В целом, именно современные системы кормления жвачных животных на основе высококачественных кормов могут снизить выбросы ПГ от животноводства и сельского хозяйства. Одними из основных факторов, определяющих качество корма, являются стадия роста на момент сбора урожая и видовая смесь. Увеличение содержания клетчатки приводит к увеличению количества метана. В то время как кормовые бобовые могут снизить выбросы ПГ за счет снижения использования азотных удобрений и снижения образования паразитов у жвачных животных. Поэтому эти корма являются более экологически и экономически выгодными [20].

2.2. Использование морских водорослей для уменьшения метана в организме жвачных животных

В последние годы проводятся интенсивные исследования морских водорослей как перспективного сырья для животноводства. В немаловажной степени это связано с тем, что водоросли являются источником различных питательных веществ, включая белки, липиды, витамины, жирные кислоты, углеводы, минералы и другие нутриенты. Они также содержат биоактивные соединения, такие как антиметаногенные, антиоксидантные, противовоспалительные, а также антибактериальные или противовирусные агенты [21–25].

Возможность снижения количества энтерального метана с помощью добавок из морских водорослей является достаточно актуальной темой. Поскольку биологическая доступность полисахаридов в некоторых морских водорослях может привести к потенциальному снижению содержания метана, в настоящее время продолжают осуществляться исследования о возможном применении различных морских водорослей в кормлении скота [26].

Обладая высокой эффективностью и широким спектром действия против метаногенов рубца, использование некоторых красных морских водорослей для производства кормов представляет собой весьма перспективный метод снижения кишечных выбросов метана у жвачных животных, сохраняя при этом достаточно высокий уровень продуктивности скота. Исследования показали, что красная морская водоросль *Asparagopsis taxiformis* способна снизить выбросы метана у мясного и молочного скота до 95% при отсутствии негативного влияния на ферментацию рубца [27].

Также установлено, что диетическое питание с биомассой из морских водорослей, содержащих флоротанины или галогенорганические аналоги метана, может комплексно применяться для снижения кишечных выбросов метана и улучшения здоровья животных без использования экстрактов или метаболитов [28–31].

Из сказанного выше следует, что морские водоросли могут быть полезны для снижения кишечных выбросов ПГ без пагубного влияния на ферментацию рубца. Однако необходимы дополнительные исследования для установления такой нормы включения морских водорослей в рацион кормления, которая будет положительно влиять на производительность животных, сохранять высокоэффективные характеристики мясной туши, поддерживать необходимый уровень содержания жирных кислот в молоке и мясе, а также иметь противовоспалительное действие при функционировании рубца.

2.3. Выделение парниковых газов при хранении навоза

Известно, что навоз является источником выбросов метана и оксида азота, а их объем зависит не только от состава навоза, но и способов его хранения и переработки.

Оксид азота образуется в результате процессов нитрификации и денитрификации азота, содержащегося в навозе, который присутствует в основном в органической форме (например, протеины) и в неорганической форме в виде аммония и аммиака. Нитрификация происходит аэробно и преобразует аммоний и аммиак в нитриты, а затем в нитраты, в то время как денитрификация происходит анаэробно, преобразуя нитраты в оксид азота и азотный газ [32].

Органическое вещество и уровень содержания азота в экскрементах являются основными характеристиками, влияющими на интенсивность эмиссии метана и образования оксида азота. В анаэробных условиях органическое вещество лишь частично разлагается бактериями с выделением метана и углекислого газа. В то же время хранение или

обработка жидкого навоза в лагуне или резервуаре способствует образованию анаэробной среды, что приводит к увеличению выделения метана. Длительные периоды хранения навоза, а также теплые и влажные условия могут еще больше увеличить выбросы этих газов [33].

Кроме того, применение навоза в качестве удобрения для кормовых культур и отложение экскрементов на пастбищах также приводят к образованию значительного количества выбросов оксида азота. Но, хотя производство кормов для скота и связано с внесением большого количества азота в сельскохозяйственные земли, рациональное использование навоза может снизить потребность в производстве соответствующих удобрений [14].

С другой стороны, для образования выбросов оксида азота необходимо сочетание аэробных и анаэробных условий. Поэтому, когда навоз обрабатывается в твердом виде или складывается на пастбищах, производство оксида азота увеличивается, в то время как метана выделяется мало или вообще не выделяется.

В Таблице 1 представлены данные по выбросам метана от процессов внутренней ферментации и утилизации навоза сельскохозяйственных животных. Эти показатели были рассчитаны для всех видов животных с учетом поголовья, расхода валовой энергии и коэффициентов перевариваемости потребляемых кормов по регионам, а также энергии мочи и зольности сухого вещества навоза [34].

Как видим, 81,7% выбросов метана от ферментативных процессов и утилизации навоза приходится на крупный рогатый скот.

Таблица 1. Распределение выбросов метана по видам животных для основных технологических процессов

Table 1. Distribution of methane emissions by animal species for the main technological processes

Виды сельскохозяйственных животных	Выбросы метана по поголовью, %		
	Внутренняя ферментация	Система утилизации навоза	Суммарные выбросы
Крупный рогатый скот	36,2	25,1	35,0
в т. ч. коровы	49,6	19,9	46,7
Овцы	9,2	1,9	8,4
Свины	1,4	47,3	6,2
Прочие	3,6	5,8	3,7
Всего	100	100	100

Очевидно, что увеличение численности поголовья скота, наряду с постоянным поступлением питательных веществ из кормов, приводит к увеличению объемов навоза, который необходимо утилизировать. На долю хранящегося навоза приходится относительно небольшое количество прямых сельскохозяйственных парниковых газов, и технически возможно уменьшить больший процент этих выбросов [13].

Поскольку выброс метана увеличивается при повышении температуры хранящегося навоза, то соответствующее ее снижение может уменьшить выбросы на 30–50% [35]. При этом уровень снижения выбросов ПГ в результате применения этого метода варьируется в зависимости от видов используемой энергии и систем охлаждения.

Регулярный вывоз навоза во внешние хранилища является эффективной практикой, которая может быть реализована с использованием рифленых полов в сочетании с их очисткой, особенно в свиноводческих помещениях, а также при определенных условиях содержания КРС. В частности, регулярное очищение каналов под хлебом и постоянный вывоз навоза способствуют снижению выбросов метана и оксида азота на 55% и 41% соответственно [36].

Разделение твердых и жидких веществ в навозе — это технология переработки, которая частично отделяет твердые частицы от жидкого навоза с помощью гравитационных или механических систем, например, таких как центрифуги или фильтр-прессы. Органические компоненты с большим размером частиц следуют за твердым потоком в процессе сепарации, а затем складываются в кучи. Как показали некоторые исследования, потенциал снижения выбросов ПГ при использовании этой технологии достигает более 30% по сравнению с необработанным навозом [37].

Аэрируемое состояние хранилища ограничивает возможность выделения метана, однако потеря аммиака при компостировании и воздействии высоких температур может ускориться. Кроме того, оставшаяся жидкая фракция все еще является потенциальным источником дополнительных выбросов оксида азота. После исключения волокнистых и крупных кусков органического материала корка во время хранения не образуется, что приводит к увеличению испарения аммиака. Снижение выбросов ПГ в результате процесса разделения твердой и жидкой фракций может быть частично уравновешено выбросами аммиака, но важно отметить, что существует множество методов, которые позволяют решить эти проблемы. Например, обеспечить плотное укрытие хранилища жидкого навоза и его регулярное использование для внесения в почву [38].

Анаэробное сбраживание — это процесс биологической деградации, в результате которого из навоза в отсутствие кислорода образуется сброженный органический остаток и биогаз (в основном метан и углекислый газ). Биогаз, собранный из системы, часто используется для выработки электроэнергии и топлива для котлов или печей. С учетом применения сброженного навоза в качестве удобрения анаэробное сбраживание позволяет сократить выбросы парниковых газов более чем на 30% по сравнению с традиционными системами переработки навоза [39].

Тем не менее необходимо уделить дополнительное внимание рациональному использованию сброженного органического остатка, полученного из анаэробного сбраживания. Минерализация органического азота, происходящая в процессе биологического разложения, повышает содержание неорганического азота и кислотность стоков. В свою очередь, это может увеличить испарение аммиака [40]. При этом сочетание анаэробного сбраживания и разделения твердой и жидкой фаз снижает количество аммиака после сбраживания [36].

Рацион питания в значительной степени влияет на выделение азота у большинства сельскохозяйственных животных, поэтому содержание оксида азота в навозе может уменьшаться в зависимости от типа кормов. Низкобелковая диета эффективно снижает выбросы оксида азота при хранении навоза крупного рогатого скота. Однако при манипулировании пищевым азотом необходимо учитывать содержание азота в рационе [38]. Так, снижение количества белка может привести к увеличению количества ферментируемых углеводов, что повышает выбросы метана.

Рационы для всех видов животных должны быть сбалансированы по аминокислотам. Это позволяет сохранить продуктивность животных на должном уровне. Синтетические аминокислоты регулярно используются при балансировании рационов животных (свиней), которые содержат однокамерные желудки. Однако при использовании аминокислот в кормлении, как одного из методов сокращения выбросов парниковых газов, необходимо учитывать, что при производстве и применении соответствующих добавок происходит определенное воздействие на окружающую среду. Так, у жвачных животных добавление свободных

аминокислот приводит к быстрому разложению в рубце без значительного увеличения производительности животных. Напротив, защищенные аминокислоты противостоят химическим изменениям в рубце и могут достигать кишечного тракта, где они всасываются, увеличивая надой у молочных коров. Кормление протеином, близким к потребности животного, рекомендуется как эффективная стратегия снижения выбросов аммиака и оксида азота из навоза [37].

Сроки, количество и способ внесения удобрений являются важными факторами, влияющими на выбросы оксида азота в почву. Потери внесенных азотных удобрений до поглощения их культурой происходят в результате выщелачивания и денитрификации почв. Чтобы обеспечить поступление необходимого количества азота к растущей культуре, следует отказаться от внесения удобрений во время сезонов дождей или перед обильными ливнями. Такие методы могут помочь в оптимизации производства биомассы и снижении выбросов парниковых газов в почве [41].

Поскольку, как отмечалось выше, после внесения навоза в почву уменьшается количество выбросов метана, то сокращение времени хранения может существенно снизить объем выбросов. Однако частое внесение навоза в почву заметно повышает интенсивность выделения с полей углекислого газа и оксида азота. Для снижения этого отрицательного эффекта следует избегать внесения удобрений во время продолжительной влажной погоды, а также в периоды низкого поглощения азота растениями [13].

Современные хранилища обеспечивают гибкий подход при выборе времени для внесения навоза на поля. А минералогический анализ содержания навоза позволяет более точно отрегулировать внесение в почву соответствующих питательных веществ и тем самым минимизировать негативное воздействие на окружающую среду [17].

Использование ингибиторов нитрификации потенциально может снизить вымывание азота за счет преобразования аммиака в нитрат. Однако этот положительный эффект ослабляется из-за увеличения косвенных выбросов оксида азота, которые возникают из-за повышенного улетаживания аммиака [41]. В целом, ингибиторы нитрификации были продемонстрированы как достаточно эффективный метод снижения выбросов оксида азота.

2.4. Снижение выбросов путем повышения эффективности выращивания скота

Существует прямая связь между интенсивностью выбросов парниковых газов и эффективностью использования животных. Чем выше продуктивность животных, тем ниже воздействие на окружающую среду (в расчете на единицу продукции). Однако для повышения указанной эффективности необходимо высококачественное управление данным процессом, в том числе необходимо более полно использовать генетический потенциал скота. Так, соответствующие исследования показали, что генетическое улучшение, которое было достигнуто при выращивании бройлеров за последние 20 лет и обеспечило увеличение суточного прироста, а также конверсия кормов, существенно снизили выбросы ПГ на единицу веса [42].

Также необходимо отметить, что животные определенного генотипа, отобранные для увеличения производства, смогут реализовать свой потенциал только при достаточном высоких затратах на их содержание. Очевидно, что для этого нужно иметь в распоряжении необходимые ресурсы. Другими словами, новые породы, полученные в том числе при скрещивании, могут привести к существенному сокращению выбросов парниковых газов. Однако эти породы скота должны соответствовать всем тем производственным

системам, которые обеспечивают их содержание. Также необходимо учитывать климатические условия и ряд других факторов [43].

Низкая плодовитость означает, что для достижения производственных показателей в стаде требуется больше племенного скота. В свою очередь, для поддержания размера стада требуется больше замен животных. Это в определенной степени увеличивает выбросы парниковых газов. Исследования показали, что повышение плодовитости молочного скота приводит к снижению выбросов метана на 10–24% и оксида азота на 9–17%. Тем не менее увеличение репродуктивной нагрузки повышает метаболические требования, связанные с беременностью и лактацией. Это может негативно сказаться на здоровье животных и повысить риск метаболических заболеваний, а также снизить иммунную функцию и тем самым уменьшить плодовитость скота [17].

Ухудшение здоровья скота связано как с поведенческими, так и с метаболическими изменениями, которые могут влиять на выбросы ПГ несколькими способами. Например, животным, борющимся с инфекцией, требуется больше энергии для их содержания, поскольку болезнь снижает потребление корма или способность его переваривать. Соответственно, это приводит к снижению скорости роста скота, в результате чего затрачивается гораздо больше времени для достижения необходимой стадии выращивания и использования скота. В недавнем исследовании, проведенном в Великобритании, изучались экономически эффективные способы сокращения выбросов ПГ за счет улучшения здоровья крупного рогатого скота. Эти исследования показали, что болезни КРС могут увеличить выбросы парниковых газов до 24% на единицу произведенного молока и до 113% на единицу говяжьей туши [43].

Что касается оптимизации продуктивности скота, данная стратегия уже доказала свою эффективность в развитых и развивающихся странах относительно существенно смягчения последствий для окружающей среды. Однако эффективность этого подхода тоже зависит от нескольких факторов. Например, таких, как уровень генетического потенциала животного, степень внедрения современных технологий управления и применение ресурсосберегающего оборудования на всех этапах содержания и выращивания скота [42].

Благодаря использованию новых видов органических и минеральных удобрений, внедрению элементов улучшенного земледелия и современных управленческих решений при осуществлении аграрной и экологически обоснованной оптимизации применения азотных удобрений, можно существенно сократить выбросы ПГ при одновременном сохранении урожайности культур и повышении рентабельности их возделывания [44].

2.5. Экологизация сельского хозяйства

Несколько немецких ученых осуществили оценку количества ПГ, поступающих в атмосферу при производстве мяса промышленным способом и с помощью так называемого «органического» и «экологического» сельского хозяйства. Сторонники такого подхода рекомендуют минимизировать использование химических удобрений, искусственной подкормки и содержать животных в «природных» условиях. Они считают, что продукты, полученные этим путем, наносят меньший вред окружающей среде — в частности, снижается объем выбросов парниковых газов.

Однако в ходе указанной выше оценки выяснилось следующее. При «органическом» сельском хозяйстве животные не только медленнее растут, но и набирают меньшую живую массу. В результате при производстве того же количества

мяса выделяется больше метана, чем при выращивании животных обычным способом. Для исправления ситуации предложено ввести дополнительный налог на продукцию животноводства, так как, по мнению упомянутых ученых, действующие на нее цены неоправданно низки и не позволяют компенсировать ущерб, который наносится окружающей среде [45].

2.6. Компьютерные модели для прогнозирования выбросов парниковых газов

Проведение исследований, связанных с изучением особенностей выделения ПГ от кишечной ферментации скота, хранения и переработки навоза, является сложным процессом. В частности, сбор и измерение ПГ отнимают много времени, а количественная оценка этих газов часто требует дорогостоящего оборудования. Кроме того, предложения о смягчении последствий, разработанные для конкретной экологической зоны, не обязательно будут пригодны в другом регионе.

Пищевые привычки животных и доступные кормовые ресурсы также могут быть неодинаковыми в разных аграрных зонах. Помимо этого, в ряде случаев именно климатические условия, преобладающие в конкретной местности, становятся решающим фактором, влияющим на уровень ПГ в атмосфере.

Таким образом, самые разнообразные факторы, связанные с деятельностью в сфере животноводства, вносят вклад в выбросы парниковых газов и, следовательно, оказывают определенное влияние на изменение климата.

В связи со сложностью различных сельскохозяйственных систем затрудняются поиск и выбор универсальных стратегий по смягчению негативных последствий на природную среду. Вполне вероятны ситуации, когда та или иная стратегия будет определена с помощью действительно удачных экспериментов. Но к моменту их завершения, возможно, выяснится, что другие компоненты, которым ранее не придавалось серьезного значения, могут весьма сильно повлиять на объем выбросов газов.

Это означает, что часто дорогостоящие исследования необходимо повторять неоднократно — с целью выбора тех стратегий, которые могут стать экономически эффективными и менее трудоемкими, что в существенной мере обеспечит широкое их применение.

Таким образом, существует настоятельная необходимость в разработке более простых экономически эффективных технологий для количественной оценки выбросов ПГ и поиска соответствующих решений для сохранения благоприятного климата.

Компьютерные имитационные модели являются ценным инструментом для изучения обратной связи и установления прямой связи между смягчением последствий от выбросов парниковых газов и адаптацией к изменению (сохранению) климата в производственных системах, предназначенных для содержания жвачных животных. Эти модели предлагают значительные возможности для решения конкретных климатических проблем, обусловленных деятельностью в сфере животноводства [46].

В настоящее время разрабатываются и применяются различные инструменты и модели для оценки выбросов ПГ от животноводческих хозяйств в форме моделирования с применением соответствующих коэффициентов [47–51].

Эти модели получили широкое признание в научном сообществе благодаря усилиям, направленным на улучшение понимания влияния различных систем в производственной

сфере сельского хозяйства. Кроме того, указанные модели могут служить реальной альтернативой дорогостоящим, трудоемким и технически сложным экспериментам в полевых условиях и животноводческих помещениях [44].

3. Заключение

Сельское хозяйство, в частности, животноводство, требует значительного количества природных ресурсов и способствуют глобальному потеплению за счет выбросов метана и оксида азота.

Для удовлетворения растущих потребностей населения в продовольствии необходимо повысить продуктивность животноводства и снизить интенсивность выбросов ПГ на единицу продукции. Одним из основных способов достижения данной экологической цели является выработка и широкое применение стратегий по снижению выбросов этих газов при учете необходимости удовлетворения спроса на продукцию животноводства, обусловленного ростом населения.

Большинство подобных стратегий направлены на повышение продуктивности животных, что в целом ряде случаев невозможно без соблюдения принятых стандартов здоровья животных. Для усиления эффективности принимаемых мер необходимо учитывать сложные взаимодействия между многими компонентами аграрной деятельности, чтобы исключить неблагоприятные экологические компромиссы.

При определении общей устойчивости стратегии смягчения последствий выбросов ПГ и повышения ее эффективности необходимо учитывать крайнюю неоднородность сельскохозяйственного сектора АПК, которая может варьироваться в зависимости от различных систем животноводства, климатических и других условий. Как правило, ни одна мера в отдельности не будет охватывать весь потенциал сокращения выбросов, в то время как для достижения наилучшего результата потребуются их комбинация, выбранная из всего спектра существующих вариантов.

Однако стандартные процедуры, которыми можно было бы руководствоваться во всех основных случаях, пока не определены. Поэтому та или иная положительная практика снижения воздействия на окружающую среду должна восприниматься с учетом многих особенностей деятельности в сфере животноводства, на которую воздействует большое количество разнообразных факторов.

Смягчение последствий может происходить непосредственно за счет сокращения количества выбрасываемых парниковых газов или косвенно за счет повышения эффективности производства. Таким образом, для увеличения эффективности стратегий смягчения вышеуказанных последствий необходимо учитывать сложные взаимодействия между компонентами системы животноводства, чтобы избежать негативного воздействия на окружающую среду.

В настоящее время в целом ряде стран, заботящихся о своей экологии, наряду с оценкой доли сельскохозяйственного производства в общем объеме выбросов парниковых газов, ведутся исследования по разработке и совершенствованию методик эколого-экономической оценки воздействий, оказываемых животноводством на окружающую среду. Однако данные исследования достаточно трудоемки, что в существенной мере затрудняет их широкое применение. Таким образом, существует настоятельная необходимость в разработке более простых экономически эффективных технологий для количественной оценки выбросов ПГ и поиска соответствующих решений для сохранения благоприятного климата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ungerfeld, E. M., Beauchemin, K. A., Muñoz, C. (2022). Current perspectives on achieving pronounced enteric methane mitigation from ruminant production. *Frontiers in Animal Science*, 2, Article 795299. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.795299>
2. Glasson, C. R. K., Kinley, R. D., de Nys, R., King, N., Adams, S. L., Packer, M. A. et al. (2022). Benefits and risks of including the bromoform containing seaweed *Asparagopsis* in feed for the reduction of methane production from ruminants. *Algal Research*, 64, Article 102673. [10.1016/j.algal.2022.102673](https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102673)
3. Gros, V., Williams, J., Aardenne, J. A., Salisbury, G., Hofmann, R., Lawrence, M. G. et al. (2003). Origin of anthropogenic hydrocarbons and halocarbons measured in the summertime European outflow. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3(4), 1893–1923. <https://doi.org/10.5194/acp-3-1223-2003>
4. Berlin, J., Sund, V. (2010). Environmental life cycle assessment (LCA) of ready meals: LCA of two meals; pork and chicken a screening assessment of six ready meals. Göteborg: SIK — Institutet för livsmedel och bioteknik, 2010.
5. Kiehl, J. T., Kevin, E. Trenberth, K.E. (1997). Earths Annual Global Mean Energy. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(2), 197–208. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0197:EAGMEB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0197:EAGMEB>2.0.CO;2)
6. Moares, L. E., Strathe A. B., Fadel, J. G., Casper, D. P., Kebreab, E. (2014). Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Global Change Biology*, 20(7), 2140–2148. <https://doi.org/10.1111/gcb.12471>
7. Dourmad, J.-Y., Rigolot, C., van der Werf, H. (17–20 May, 2008). *Emission of greenhouse gas, developing management and animal farming systems to assist mitigation*. Livestock and Global Climate Change, 2008, Hammamet, Tunisia, hal-01460853f
8. Gerber, P. J., Hristov, A. N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C. et al. (2013). Technical options for mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal: an International Journal of Animal Bioscience*, 7(Suppl 2), 220–234. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>
9. Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Eckard, R. J., Wang, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*, 14(S1), S2–S16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
10. McAllister, T. A., Newbold, C. J. (2008). Redirecting rumen methane to reduce methanogenesis. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(1–2), 7–13. <https://doi.org/10.1071/EA07218>
11. Eckard, R. J., Grainger, C., de Klein, C. A. M. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock Science*, 130(1–3), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.010>
12. Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P., Tricarico, J. M. (2014). Invited review: enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3231–3261. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
13. Pereira, L. G. R., Machado, F. S., Campos, M. M., Guimarães, R., Tomich, T. R., Reis, L. G. et al. (2015). Enteric methane mitigation strategies in ruminants: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 28(2), 124–143. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v28n2a02>
14. Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J. et al. (2013). Tackling climate change through live- stock — A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome: FAO. Retrieved from <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf> Accessed June 18, 2022
15. Beauchemin, K. A., McAllister, T. A., McGinn, S. M. (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4.35, 1–18. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094035>
16. Herrero, M., Conant, R. T., Havlik, P., Thornton, P. K., Conant, R. T., Smith, P. et al. (2016). Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6(5), 452–461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>
17. Llonch, P., Haskell, M. J., Dewhurst, R. J., Turner, S. P. (2017). Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: An animal welfare perspective. *Animal*, 11(2), 274–284. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001440>
18. Бельчикова, Е. (2021). Создана добавка для коровьего корма, которая снижает выбросы метана и поможет заработать фермерам. Электронный ресурс <https://yandex.ru/turbo/techinsider.ru/s/science/news-699933-sozdana-dobavka-dlya-korovego-korma-kotoraya-snizit-vybrosy-metana-i-pomozhet-zarabotat-fermeram/> Дата обращения 10.06.2022
19. Самарджич, М., Валентини, Р., Васенев, И. И. (2014). Экологическая оценка удельной эмиссии парниковых газов при производстве и потреблении мясной продукции в условиях Центрального региона России. *Достижения науки и техники АПК*, 9, 61–64.
20. Eugene, M., Klumpp, K., Sauvart, S. (2021) Methane mitigating options with forages fed to ruminants. *Grass Forage Science*. 76(2), 196–204. <https://doi.org/10.1111/gfs.12540>
21. Pal, A., Kamthania, M. C., Kumar, A. (2014). Bioactive compounds and properties of seaweeds—a review. *Open Access Library Journal*, 1(04), Article e752. <https://doi.org/10.4236/oalib.1100752>
22. Gaillard, C., Bhatti, H. S., Garrido, M., Lind, V., Roleda, M. Y., Weisbjerg, M. R. (2018). Amino acid profiles of nine seaweed species and their in-situ degradability in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 24, 210–222. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2018.05.003>
23. Nunes, N., Valente, S., Ferraz, S., Barreto, M. C., Pinheiro de Carvalho, M. A. A. (2018) Nutraceutical potential of *Asparagopsis taxiformis* extracts and assessment of a downstream purification strategy. *Heliyon*, 4(11), Article e00957. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00957>
24. Roque, B. M., Venegas, M., Kinley, R. D., de Nys R., Duarte, T. L., Yang, X. et al. (2021). Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by 80 percent in beef steers. *PLoS ONE*, 16(3 March), Article e024782017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>
25. Duan, X.-J., Zhang, W.-W., Li, X.-M., Wang, B.-G. (2006). Evaluation of antioxidant property of extract and fractions obtained from a red alga, *Polysiphonia urceolata*. *Food Chemistry*, 95(1), 37–43 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.015>
26. Morais, T., Inacio, A., Coutinho, T., Ministro, M., Cotas J., Pereira L. et al. (2020). Seaweed potential in the animal feed: a review. *Marine Science and Engineering*, 8, Article 559. <https://doi.org/10.3390/jmse8080559>
27. Roque, B. M., Salwen, J. K., Kinley, R., Kebreab, E. (2019). Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cow's diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. *Journal of Cleaner Production*, 234, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.193>
28. Kinley, R. D., Martinez-Fernandez, G., Mathews, M. K., de Nys, R. D., Magnusson, M., Tomkins, N. W. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving the productivity of ruminant livestock agriculture using red seaweed. *Journal of Cleaner Production*, 259, Article 120836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836>
29. Machado, L., Tomkins, N., Magnusson, M., Midgley, D. J., de Nys, R., Rosewarne, C. P. (2018). In vitro response of rumen microbiota to the anti-methanogenic red macroalga *Asparagopsis taxiformis*. *Microbial Ecology*, 75, 811–818. <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1086-8>
30. Tomkins, N. W., Colegate, S. M., Hunter, R. A. (2009). A bromochloromethane formulation reduces enteric methanogenesis in cattle-fed grain-based diets. *Animal Production Science*, 49(12), 1053–1058. <https://doi.org/10.1071/EA08223>
31. Wang, Y., Xu, Z., Bach, S. J., McAllister, T. A. (2009). Sensitivity of *Escherichia coli* to seaweed (*Ascophyllum nodosum*) phlorotannins and terrestrial tannins. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(2), 238–245. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80213>
32. Saggart, S. (2010). Estimation of nitrous oxide emissions from ecosystems and its mitigation technologies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 136(3–4), 189–191. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.01.007>
33. Environmental Protection Agency (2010). Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990–2008. Washington (DC): U. S. Environmental Protection Agency. Retrieved from https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/508_complete_ghg_1990_2008.pdf Accessed June 15, 2022
34. Гриднева, Т. Т. (2012). Эмиссия вредных газов при производстве животноводческой продукции. *Вестник ВНИИМЖ*, 4(8), 61–69.
35. Borhan, M. S., Mukhtar, S., Capareda, S., Rahman, S. (2012). Greenhouse gas emissions from housing and manure management systems at confined live- stock operations. Chapter in a book: Waste Management — An Integrated Vision, Rijeka (Croatia): InTech. 259–296. <https://dx.doi.org/10.5772/51175>
36. Sajeev, E. P. M., Winiwarter, W., Amon, B. (2018). Greenhouse gas and ammonia emissions from different stages of liquid manure management chains: Abatement options and emission interactions. *Journal of Environmental Quality*, 47(1), 30–41. <https://doi.org/10.2154/jeq.2017.05.0199>
37. Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A. N., Oh, J. et al. (2013). Special topics — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5070–5094. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6584>
38. Holly, M. A., Larson, R. A., Powell, J. M., Ruark, M. D., Aguirre-Villegas, H. (2017). Greenhouse gas and ammonia emissions from digested and separated dairy manure during storage and after land application. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239, 410–419. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.007>
39. Battini, F., Agostini, A., Boulamanti, A. K., Giuntoli, J., Amaducci, S. (2014). Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: case study of a dairy farm in the Po Valley. *Science of the Total Environment*, 481(1), 196–208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.038>
40. Petersen, S. O., Sommer, S. G. (2011). Ammonia and nitrous oxide interactions: Roles of manure organic matter management. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 503–513. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.04.077>
41. Lam, S.K., Suter, H., Mosier, A.R., Chen, D. (2016). Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N₂O emission: a double-edged sword? *Global Change Biology*, 23(2), 485–489. <https://doi.org/10.1111/gcb.13338>
42. Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A., Williams, A.G. (2019). Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*, 9(1), 69–76. <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>

43. Williams, A., Chatterton, J., Hateley, G., Curwen, A., Elliott, J. (2015). A systems-life cycle assessment approach to modelling the impact of improvements in cattle health on greenhouse gas emissions. *Advances in Animal Biosciences*, 6(1), 29–31. <https://doi.org/10.1017/S2040470014000478>
44. Васенев И. И., Бузылев, А. В., Велик, А. В. (2007). Геоинформационно-методическое обеспечение агроэкологической оптимизации и прецезионного земледелия в условиях черноземной зоны России. *Известия Тимирязевской Сельскохозяйственной Академии*, 2, 28–55.
45. Pieper, M., Michalke, A., Gaugler, T. (2020). Calculation of external climate costs for food highlights inadequate pricing of animal products. *Nature Communications*, 11(1), Article 6117. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19474-6>
46. Jose, V.S., Sejian, V., Bagath, M., Ratnakaran, A. P., Lees, A.M., Al-Hosni, Y.A.S. et al. (2016). Modeling of Greenhouse Gas Emission from Livestock. *Frontiers in Environmental Science*, 4(APR), Article 27. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00027>
47. Petersen, S. O., Blanchard, M., Chadwick, D., Del Prado, A., Edouard, N., Mosquera, J. et al. (2013). Manure management for greenhouse gas mitigation. *Animal*, 7(SpecialIssue2), 266–282. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000736>
48. Amani, P., Schiefer, G. (2011). Review on suitability of available LCIA methodologies for assessing environmental impact of the food sector. *International Journal on Food System Dynamics*, 2(2), 194–206. <https://doi.org/10.18461/ijfsd.v2i2.228>
49. Gibbons, J. M., Ramsden, S. J., Blake, A. (2006). Modelling uncertainty in greenhouse gas emissions from UK agriculture at the farm level. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112(4), 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.029>
50. De Vries, M., de Boer, I.J.M. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, 128(1–3), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.11.007>
51. Bryant, J.R., Snow, V.O. (2008). Modelling pastoral farm agro-ecosystems: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 51(3), 349–363. <https://doi.org/10.1080/00288230809510466>

REFERENCES

1. Ungerfeld, E.M., Beauchemin, K.A., Muñoz, C. (2022). Current perspectives on achieving pronounced enteric methane mitigation from ruminant production. *Frontiers in Animal Science*, 2, Article 795299. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.795200>
2. Glasson, C.R.K., Kinley, R.D., de Nys, R., King, N., Adams, S. L., Packer, M. A. et al. (2022). Benefits and risks of including the bromoform containing seaweed *Asparagopsis* in feed for the reduction of methane production from ruminants. *Algal Research*, 64, Article 102673. [10.1016/j.algal.2022.102673](https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102673)
3. Gros, V., Williams, J., Aardenne, J.A., Salisbury, G., Hofmann, R., Lawrence, M.G. et al. (2003). Origin of anthropogenic hydrocarbons and halocarbons measured in the summertime European outflow. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3(4), 1893–1923. <https://doi.org/10.5194/acp-3-1223-2003>
4. Berlin, J., Sund, V. (2010). Environmental life cycle assessment (LCA) of ready meals: LCA of two meals; pork and chicken a screening assessment of six ready meals. Göteborg: SIK – Institutet för livsmedel och bioteknik, 2010.
5. Kiehl, J.T., Kevin, E. Trenberth, K.E. (1997). Earths Annual Global Mean Energy. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(2), 197–208. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0197:EAGMEB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0197:EAGMEB>2.0.CO;2)
6. Moares, L.E., Strathe A. B., Fadel, J.G., Casper, D.P., Kebreab, E. (2014). Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Global Change Biology*, 20(7), 2140–2148. <https://doi.org/10.1111/gcb.12471>
7. Dourmad, J.-Y., Rigolot, C., van der Werf, H. (17–20 May, 2008). *Emission of greenhouse gas, developing management and animal farming systems to assist mitigation*. Livestock and Global Climate Change, 2008, Hammamet, Tunisia, hal-01460853f
8. Gerber, P.J., Hristov, A.N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C. et al. (2013). Technical options for mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal: an International Journal of Animal Bioscience*, 7(Suppl 2), 220–234. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>
9. Beauchemin, K.A., Ungerfeld, E.M., Eckard, R.J., Wang, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*, 14(S1), S2–S16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
10. McAllister, T.A., Newbold, C.J. (2008). Redirecting rumen methane to reduce methanogenesis. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(1–2), 7–13. <https://doi.org/10.1071/EA07218>
11. Eckard, R.J., Grainger, C., de Klein, C.A.M. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock Science*, 130(1–3), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.010>
12. Knapp, J.R., Laur, G.L., Vadas, P.A., Weiss, W.P., Tricarico, J.M. (2014). Invited review: enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3231–3261. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
13. Pereira, L.G.R., Machado, F.S., Campos, M.M., Guimarães, R., Tomich, T. R., Reis, L.G. et al. (2015). Enteric methane mitigation strategies in ruminants: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 28(2), 124–143. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v28n2a02>
14. Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J. et al. (2013). Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome: FAO. Retrieved from <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf> Accessed June 18, 2022
15. Beauchemin, K.A., McAllister, T.A., McGinn, S.M. (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4.35, 1–18. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094035>
16. Herrero, M., Conant, R.T., Havlik, P., Thornton, P. K., Conant, R. T., Smith, P. et al. (2016). Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6(5), 452–461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>
17. Llonch, P., Haskell, M.J., Dewhurst, R.J., Turner, S.P. (2017). Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: An animal welfare perspective. *Animal*, 11(2), 274–284. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001440>
18. Belchikova, E. (2021). Created a cow feed additive that will reduce methane emissions and help farmers earn money. Retrieved from <https://yandex.ru/turbo/techinsider.ru/s/science/news-699935-sozdana-dobavka-dlya-korovego-korma-kotoraya-snizit-vybrosy-metana-i-pomozhet-zarabotat-fermeram/> Accessed June 10, 2022 (In Russian)
19. Samardzic, M., Valentini, R., Vasenev, I.I. (2014). Environmental assessment of specific greenhouse gas emissions by meat production and consumption in the Central Region of Russia's conditions. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, 9, 61–64. (In Russian)
20. Eugene, M., Klumpp, K., Sauvant, S. (2021) Methane mitigating options with forages fed to ruminants. *Grass Forage Science*, 76(2), 196–204. <https://doi.org/10.1111/gfs.12540>
21. Pal, A., Kamthania, M.C., Kumar, A. (2014). Bioactive compounds and properties of seaweeds-a review. *Open Access Library Journal*, 1(04), Article e752. <https://doi.org/10.4236/oalib.1100752>
22. Gaillard, C., Bhatti, H.S., Garrido, M., Lind, V., Roleda, M.Y., Weisbjerg, M.R. (2018). Amino acid profiles of nine seaweed species and their in-situ degradability in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 24, 210–222. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2018.05.003>
23. Nunes, N., Valente, S., Ferraz, S., Barreto, M.C., Pinheiro de Carvalho, M.A.A. (2018) Nutritional potential of *Asparagopsis taxiformis* extracts and assessment of a downstream purification strategy. *Heliyon*, 4(11), Article e00957. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00957>
24. Roque, B.M., Venegas, M., Kinley, R.D., de Nys R., Duarte, T. L., Yang, X. et al. (2021). Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by 80 percent in beef steers. *PLoS ONE*, 16(3March), Article e024782017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>
25. Duan, X.-J., Zhang, W.-W., Li, X.-M., Wang, B.-G. (2006). Evaluation of antioxidant property of extract and fractions obtained from a red alga, *Polysiphonia urceolata*. *Food Chemistry*, 95(1), 37–43 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.015>
26. Morais, T., Inacio, A., Coutinho, T., Ministro, M., Cotas J., Pereira L. et al. (2020). Seaweed potential in the animal feed: a review. *Marine Science and Engineering*, 8, Article 559. <https://doi.org/10.3390/mjse8080559>
27. Roque, B.M., Salwen, J.K., Kinley, R., Kebreab, E. (2019). Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cow's diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. *Journal of Cleaner Production*, 234, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.193>
28. Kinley, R.D., Martinez-Fernandez, G., Mathews, M.K., de Nys, R.D., Magnusson, M., Tomkins, N.W. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving the productivity of ruminant livestock agriculture using red seaweed. *Journal of Cleaner Production*, 259, Article 120836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836>
29. Machado, L., Tomkins, N., Magnusson, M., Midgley, D.J., de Nys, R., Rosewarne, C.P. (2018). In vitro response of rumen microbiota to the anti-methanogenic red macroalga *Asparagopsis taxiformis*. *Microbial Ecology*, 75, 811–818. <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1086-8>
30. Tomkins, N.W., Colegate, S.M., Hunter, R.A. (2009). A bromochloromethane formulation reduces enteric methanogenesis in cattle-fed grain-based diets. *Animal Production Science*, 49(12), 1053–1058. <https://doi.org/10.1071/EA08223>
31. Wang, Y., Xu, Z., Bach, S.J., McAllister, T.A. (2009). Sensitivity of *Escherichia coli* to seaweed (*Ascophyllum nodosum*) phlorotannins and terrestrial tannins. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(2), 238–245. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80213>
32. Sagar, S. (2010). Estimation of nitrous oxide emissions from ecosystems and its mitigation technologies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 136(3–4), 189–191. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.01.007>
33. Environmental Protection Agency (2010). Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990–2008. Washington (DC): U. S. Environ-

- mental Protection Agency. Retrieved from https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/508_complete_ghg_1990_2008.pdf Accessed June 15, 2022
34. Gridneva, T.T. (2012). Emission of harmful gases livestock product. *Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Animal Husbandry Mechanization*, 4(8), 61–69. (In Russian)
 35. Borhan, M.S., Mukhtar, S., Capareda, S., Rahman, S. (2012). Greenhouse gas emissions from housing and manure management systems at confined livestock operations. Chapter in a book: Waste Management — An Integrated Vision, Rijeka (Croatia): InTech. 259–296. <https://dx.doi.org/10.5772/51175>
 36. Sajeev, E.P.M., Winiwarter, W., Amon, B. (2018). Greenhouse gas and ammonia emissions from different stages of liquid manure management chains: Abatement options and emission interactions. *Journal of Environmental Quality*, 47(1), 30–41. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.05.0199>
 37. Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A.N., Oh, J. et al. (2013). Special topics — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5070–5094. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6584>
 38. Holly, M.A., Larson, R.A., Powell, J.M., Ruark, M.D., Aguirre-Villegas, H. (2017). Greenhouse gas and ammonia emissions from digested and separated dairy manure during storage and after land application. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239, 410–419. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.007>
 39. Battini, F., Agostini, A., Boulamanti, A.K., Giuntoli, J., Amaducci, S. (2014). Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: case study of a dairy farm in the Po Valley. *Science of the Total Environment*, 481(1), 196–208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.038>
 40. Petersen, S.O., Sommer, S. G. (2011). Ammonia and nitrous oxide interactions: Roles of manure organic matter management. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 503–513. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.04.077>
 41. Lam, S.K., Suter, H., Mosier, A.R., Chen, D. (2016). Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N₂O emission: a double-edged sword? *Global Change Biology*, 23(2), 485–489. <https://doi.org/10.1111/gcb.13338>
 42. Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A., Williams, A.G. (2019). Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*, 9(1), 69–76. <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>
 43. Williams, A., Chatterton, J., Hateley, G., Curwen, A., Elliott, J. (2015). A systems-life cycle assessment approach to modelling the impact of improvements in cattle health on greenhouse gas emissions. *Advances in Animal Biosciences*, 6(1), 29–31. <https://doi.org/10.1017/S2040470014000478>
 44. Vasenyov I. I., Buzlyov A. V., Belik A. V. (2007). Geo-informational and methodical grounds for agroecological optimization and precise farming under conditions of black-earth-zone in Russian Federation. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2, 28–55. (In Russian)
 45. Pieper, M., Michalke, A., Gaugler, T. (2020). Calculation of external climate costs for food highlights inadequate pricing of animal products. *Nature Communications*, 11(1), Article 6117. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19474-6>
 46. Jose, V.S., Sejian, V., Bagath, M., Ratnakaran, A. P., Lees, A.M., Al-Hosni, Y.A.S. at al. (2016). Modeling of Greenhouse Gas Emission from Livestock. *Frontiers in Environmental Science*, 4(APR), Article 27. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00027>
 47. Petersen, S. O., Blanchard, M., Chadwick, D., Del Prado, A., Edouard, N., Mosquera, J. at al. (2013). Manure management for greenhouse gas mitigation. *Animal*, 7(Specialissue2), 266–282. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000736>
 48. Amani, P., Schiefer, G. (2011). Review on suitability of available LCIA methodologies for assessing environmental impact of the food sector. *International Journal on Food System Dynamics*, 2(2), 194–206. <https://doi.org/10.18461/ijfsd.v2i2.228>
 49. Gibbons, J. M., Ramsden, S. J., Blake, A. (2006). Modelling uncertainty in greenhouse gas emissions from UK agriculture at the farm level. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112(4), 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.029>
 50. De Vries, M., de Boer, I.J.M. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, 128(1–3), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.11.007>
 51. Bryant, J.R., Snow, V.O. (2008). Modelling pastoral farm agro-ecosystems: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 51(3), 349–363. <https://doi.org/10.1080/00288230809510466>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Петрунина Ирина Всеволодовна — старший научный сотрудник, Центр «Экономико-аналитических исследований и информационных технологий», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д.26 Тел.: +7-495-676-95-11 доб. 253 E-mail: i.petrulina@fnfps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7287-3511	Irina V. Petrunina , Senior Researcher, Center of Economic and Analytical Research and Information Technologies, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 (253) E-mail: i.petrulina@fnfps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7287-3511
Горбунова Наталья Анатольевна — кандидат технических наук, ученый секретарь, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д.26 Тел.: +7-495-676-95-11 доб. 316 E-mail: n.gorbunova@fnfps.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4249-9316	Nataliya A. Gorbunova , Candidate of Technical Sciences, Scientific Secretary, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 (316) E-mail: n.gorbunova@fnfps.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4249-9316
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/10.21323/2618-9771-2022-5-3-212-222>

Поступила 01.08.2022

Поступила после рецензирования 26.08.2022

Принята в печать 05.09.2022

© Долганюк В. Ф., Бабич О. О., Сухих С. А., Ульрих Е. В., Каширских Е. В., Андреева А. П., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ИССЛЕДОВАНИЕ *IN VITRO* БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ БИОМАССЫ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ

Долганюк В. Ф.¹, Бабич О. О.¹, Сухих С. А.¹, Ульрих Е. В.^{2*}, Каширских Е. В.¹, Андреева А. П.¹

¹ Балтийский федеральный университет им. И. Канта

² Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

chlorella vulgaris, *arthrospira platensis*, *nostoc sp.*, *dunaliella salina*, *Pleurochrysis carterae*, липиды, углеводы, белки, антимикробная, антиоксидантная, пробиотическая, антигипертензивная активности

АННОТАЦИЯ

Микроводоросли богаты биологически активными веществами: белками, углеводами, липидами, полиненасыщенными жирными кислотами, витаминами, пигментами, фикобилипротеинами, ферментами, которые способны проявлять антиоксидантное, иммуностимулирующее, антибактериальное, противовирусное, противоопухолевое, антигипертензивное, регенеративное и нейропротективное действия. Целью данной работы являлось изучение *in vitro* антиоксидантных, антибактериальных, фунгицидных, антигипертензивных и пребиотических свойств белкового концентрата, липид-пигментного и углеводно-минерального комплексов, полученных из биомассы микроскопических водорослей. Для определения *in vitro* антиоксидантных, антибактериальных, фунгицидных, антигипертензивных и пребиотических свойств белкового концентрата, липид-пигментного и углеводно-минерального комплексов, полученных из биомассы микроскопических водорослей, использовали следующие методы: диффузионный метод (на твердой питательной среде), метод, основанный на измерении оптической плотности (в жидкой питательной среде), метод определения антиоксидантной активности исследуемых образцов по их способности восстанавливать свободные радикалы, метод ингибирования ангиотензинпревращающего фермента. Показано, что наиболее выраженным антиоксидантным действием среди исследуемых образцов обладает углеводно-минеральный комплекс. Установлено, что антибактериальными и фунгицидными свойствами обладают и белковый концентрат, и липид-пигментный и углеводно-минеральный комплексы. Доказано, что наименее выраженным антигипертензивным действием среди исследуемых образцов обладает углеводно-минеральный комплекс. Выявлено, что липид-пигментный и углеводно-минеральный комплексы практически не обладают пребиотическими свойствами. Показано наличие у белковых концентратов, липид-пигментных и углеводно-минеральных комплексов, полученных из биомассы микроскопических водорослей (*Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis*, *Nostoc sp.*, *Dunaliella salina*, *Pleurochrysis carterae*) биологической активности (антимикробной, фунгицидной, антиоксидантной, пробиотической), а также присутствие антигипертензивных свойств. Все эти факторы открывают перспективы использования белковых концентратов, а также липид-пигментных и углеводно-минеральных комплексов в практических целях.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-316-60001.

Received 01.08.2022

Accepted in revised 26.08.2022

Accepted for publication 05.09.2022

© Dolganyuk V. F., Babich O. O., Sukhikh S. A., Ulrikh E. V., Kashirskikh E. V., Andreeva A. P., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

IN VITRO STUDY OF BIOLOGICALLY ACTIVE PROPERTIES OF COMPLEXES ISOLATED FROM BIOMASS OF MICROSCOPIC ALGAE

Vyacheslav F. Dolganyuk¹, Olga O. Babich¹, Stanislav A. Sukhikh¹, Elena V. Ulrikh^{2*}, Egor V. Kashirskikh¹, Anna P. Andreeva¹

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

² Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

KEY WORDS:

chlorella vulgaris, *arthrospira platensis*, *nostoc sp.*, *dunaliella salina*, *leurochrysis carterae*, lipids, carbohydrates, proteins, antimicrobial, antioxidant, probiotic, antihypertensive activity

ABSTRACT

Microalgae are rich in biologically active substances: proteins, carbohydrates, lipids, polyunsaturated fatty acids, vitamins, pigments, phycobiliproteins, enzymes, which are able to provide antioxidant, immunostimulating, antibacterial, antiviral, antitumor, antihypertensive, regenerative and neuroprotective effects on a body. The aim of this study is to run *in vitro* study of the antioxidant, antibacterial, fungicidal, antihypertensive and prebiotic properties of protein concentrate (PC), lipid-pigment complex (LPC) and carbohydrate-mineral complexes (CMC) obtained from the biomass of microscopic algae. To determine *in vitro* the antioxidant, antibacterial, fungicidal, antihypertensive and prebiotic properties of protein concentrates, lipid-pigment complexes and carbohydrate-mineral complexes obtained from the biomass of microscopic algae, the following methods were used: method of

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Долганюк, В. Ф., Бабич О. О., Сухих, С. А., Ульрих, Е. В., Каширских, Е. В., Андреева, А. П. (2022). Исследование *in vitro* биологически активных свойств комплексов, выделенных из биомассы микроскопических водорослей. *Пищевые системы*, 5(3), 212-222. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-212-222>

FOR CITATION: Dolganyuk, V. F., Babich, O. O., Sukhikh, S. A., Ulrikh, E. V., Kashirskikh, E. V., Andreeva, A. P. (2022). *In vitro* study of biologically active properties of complexes isolated from biomass of microscopic algae. *Food Systems*, 5(3), 212-222. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-212-222>

diffusion (on a solid nutritional medium); optical density method (in a liquid nutritional medium); the method for determining the antioxidant activity of the researched samples by their ability to restore free radicals; the method of inhibition of the angiotensin-converting enzyme. It was shown in this study that among the studied samples the carbohydrate-mineral complex provided the most pronounced antioxidant effect. It was found that both protein concentrates, and lipid-pigment complexes and carbohydrate-mineral complexes feature antibacterial and fungicidal properties. It was proven that among the studied samples the carbohydrate-mineral complex provided the least pronounced antihypertensive effect. It was found that the lipid-pigment complexes and carbohydrate-mineral complexes practically have no prebiotic properties. The biological activity (antimicrobial, fungicidal, antioxidant and prebiotic activities), as well as the antihypertensive properties, were confirmed in the protein concentrates, lipid-pigment complexes and carbohydrate-mineral complexes obtained from the biomass of microscopic algae (*Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis*, *Nostoc* sp., *Dunaliella salina*, *Pleurochrysis carterae*). All these factors open up promising prospects for the practical application of protein concentrates, as well as lipid-pigment complexes and carbohydrate-mineral complexes.

FUNDING: The article was published as part of the research in the field of bioactive peptides was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research No 19–316–60001.

1. Введение

В последнее время вопросы культивирования микроводорослей вызывают все больший интерес у исследователей ввиду их способности синтезировать различные биологически активные вещества, а также благодаря быстрому росту биомассы и возможности корректировки их биохимического состава в зависимости от условий культивирования [1,2]. В отличие от гетеротрофных микроорганизмов, нуждающихся в различных органических соединениях, которые необходимы для роста, одноклеточные фотосинтезирующие организмы производят биомассу из полностью окисленных неорганических веществ и минеральных элементов за счет световой энергии, преобразуемой в процессе фотосинтеза [3]. Кроме того, технологии производства биомассы микроводорослей не оказывает пагубного воздействия на окружающую среду: в процессе их роста используется углекислый газ, выделяется кислород и требуется небольшое количество воды; для их выращивания можно задействовать непригодные для сельскохозяйственных культур земельные ресурсы [1].

В настоящее время можно выделить два основных направления использования микроводорослей: производство биомассы в качестве биологически активной добавки (БАД), а также культивирование микроводорослей для последующего выделения из биомассы биологически активных веществ (БАВ) [4].

Микроводоросли богаты питательными (белки, углеводы, липиды) и биологически активными веществами (полиненасыщенные жирные кислоты, витамины, пигменты, фикобилипротеины, ферменты и др.). Биологически активные вещества из микроводорослей способны проявлять антиоксидантное, иммуностимулирующее, антибактериальное, регенеративное, противоопухолевое, антигипертензивное, протигипертензивное и нейропротективное действия [5–7]. Данные соединения находят спрос в медицине, косметологии, пищевой промышленности, рыболовстве, энергетике, сельском хозяйстве, а также при производстве кормов и функциональных продуктов питания [2].

Лишь несколько видов микроводорослей (*Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*, *Chlorella* или *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella*, *Aphanizomenon* и *Nostoc*) разрешены для употребления человеком в пищу [8–10]. Данные микроводоросли являются перспективным объектом для крупномасштабного культивирования из-за высокого содержания биологически активных веществ и сравнительно дешевого процесса производства [11–13]. Другие виды микроводорослей, такие как *Chlamydomonas* sp., *Chlorococcum* sp., *Scenedesmus* sp., *Tetraselmis chuii*, *Nanochloropsis* sp., зарекомендовали себя как полезные компоненты в аквакультуре, кормах, удобрениях и косметических средствах, однако пока не имеют статуса GRAS [3,4].

Поиск новых штаммов микроводорослей, которые еще не были изучены, может расширить область их промышленного применения и открыть новые перспективы использования [14,16]. Ввиду большого разнообразия микроводорослей, а также с учетом высокой метаболической гибкости и различных условий культивирования, их реальный потенциал на сегодняшний день оценен не полностью [17–19]. Инновационные разработки для оптимизации производства микроводорослей сделают их применение экономически целесообразным и востребованным в будущем [20].

Для исследований были выбраны данные виды микроводорослей (*Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis*, *Nostoc* sp., *Dunaliella salina*, *Pleurochrysis carterae*) в связи с тем, что они быстро растут (время удвоения до 6 часов), их продуктивность в малых масштабах выше, чем у растений, для максимального роста они не требуют сельскохозяйственно значимых земель (не конкурируют с пищевой промышленностью), используют очень простые минеральные компоненты для роста, используют соленую морскую воду, могут расти на сточных водах с одновременной их очисткой, используют только солнечную энергию, при росте они поглощают углекислый газ, содержат большое количество белков, жиров и углеводов [1].

Целью данной работы являлось изучение *in vitro* антиоксидантных, антибактериальных, фунгицидных, антигипертензивных и пребиотических свойств белкового концентрата, липид-пигментного и углеводно-минерального комплексов, полученных из биомассы микроскопических водорослей.

2. Объекты и методы

Объектом исследования являлись микроводоросли *Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis*, *Nostoc* sp., *Dunaliella salina*, *Pleurochrysis carterae*. Для получения белкового концентрата (БК), липид-пигментного (ЛК) и углеводно-минерального (УМК) комплексов использовали водноэтанольную экстракцию, которую проводили следующим образом. Биомассу микроводорослей выдерживали при температуре 40 °С в печи (Memmert, Швабах, Германия) в течение 18 часов. Затем 2 г высушенных микроводорослей экстрагировали в 40 мл 70%-го этилового спирта при температуре 4 °С в течение 16 часов. Микроводоросли осаждали центрифугированием при 9000 об/мин в течение 20 мин при температуре 4 °С. Затем осадок растворяли в 0,1 М растворе NaOH, перемешивали и снова осаждали. БК, ЛК и УМК экстрагировали из растворенных осадков микроводорослей, меняя порядок добавления растворителя: сначала 0,1 М раствор NaOH, затем 0,1 М раствор HCl.

2.1. Определение антиоксидантной активности

Исследуемые образцы БК, ЛК и УМК, растворяли в 1 мл диметилсульфоксида и обрабатывали ультразвуком (Sonorex Super RK 100 H, Bandelin, Германия) в течение 5–10 минут до

их полного растворения. Растворение образцов проводили непосредственно в день анализа.

Антиоксидантную активность исследуемых образцов определяли по их способности восстанавливать радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH, $C_{18}H_{12}N_5O_6$, $M = 394,33$). Реакция взаимодействия антиоксидантов с DPPH-радикалом протекает по схеме:



В результате восстановления DPPH-радикала антиоксидантом снижается пурпурно-синяя окраска DPPH в этаноле, а реакция контролируется по изменению оптической плотности спектрофотометрическим методом.

Для проведения анализа растворы исследуемых образцов БК, ЛК и УМК смешивали с 2,85 мл свежеприготовленного 0,1 мМ раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила. Смесь инкубировали в темноте при комнатной температуре в течение 30 мин. Уменьшение оптической плотности по сравнению с контролем (раствор диметилсульфоксида) регистрировали при 517 нм (спектрофотометр UV-3600, Shimadzu, Япония). В качестве стандартных растворов использовали растворы аскорбиновой кислоты (АК) известной концентрации. Результаты анализов выражали в мг эквивалента АК на грамм экстракта или индивидуального соединения (мг АК/г). При отсутствии массы образца антиоксидантную активность определяли значением EC50 в мкл раствора, необходимого для связывания 50% DPPH-радикала [1].

Анализ антиоксидантной активности проб проводился в трех повторностях. Представлялись средние значения и стандартные отклонения.

2.2. Определение микробиологических свойств

Оценку антимикробного действия исследуемых образцов осуществляли в отношении роста условно-патогенных и патогенных тест-штаммов микроорганизмов двумя способами: диффузионным методом (на твердой питательной среде) и методом, основанным на измерении оптической плотности (в жидкой питательной среде) [15,16].

В качестве патогенных и условно-патогенных бактериальных клеток применяли тест-штаммы: *Proteus vulgaris* ATCC63, *Escherichia coli* ATCC25922, *Bacillus subtilis* B-7918, *Staphylococcus aureus* ATCC25923, *Candida albicans* ЭМТК 34.

Для реализации диффузионного метода на твердую агаризованную питательную среду высевали исследуемый тест-штамм и помещали на нее диск, пропитанный исследуемым образцом. В качестве контроля использовали чашку Петри с диском, на который нанесен антибиотик. Тест-штаммы культивировали в течение $24 \pm 0,5$ ч в инкубаторе, в котором поддерживалась постоянная температура, соответствующая данному виду микроорганизма. Результаты учитывали по наличию и размеру (в мм) прозрачной зоны отсутствия роста микроорганизмов вокруг диска [15,16].

Фунгицидную активность изучали диффузионным методом (на твердой питательной среде), согласно методике, описанной выше. В качестве модельного тест-штамма применяли *Aspergillus niger*.

2.3. Определение антигипертензивной активности

Для определения антигипертензивной активности использовали следующую методику: 80 мкл образца БК, ЛК и УМК микроскопических водорослей, доведенного до pH 8,3, добавляли к 200 мкл раствора субстрата, состоящего из гипурил-гистирил-лейцина с концентрацией 5 мМ, растворенного в 0,1 М натрий-боратном буфере и 0,3 М NaCl при pH 8,3. Смеси предварительно инкубировали при температуре 37 °С. Двадцать мкл ангиотензин-превращающего фермента (АПФ) (0,1 Ед / мл, Sigma-Aldrich) добавляли для инициирования

реакции, и смесь инкубировали при 37 °С в течение 30 мин, а затем снижали pH с помощью 250 мкл 1 М HCl. Образовавшуюся в реакции гиппуровую кислоту экстрагировали интенсивным перемешиванием в течение 10 с после добавления 1 мл этилацетата. Затем его центрифугировали при 4000 g в течение 10 минут при 25 °С и отбирали 500 мкл органической фазы. Этилацетат удаляли нагреванием при 95 °С в течение 10 минут. Остаток гиппуровой кислоты повторно растворяли в 1 мл дистиллированной воды и после встряхивания измеряли поглощение спектрофотометром при длине волны 228 нм. Мишень реакции готовили путем добавления HCl перед введением ангиотензинпревращающего фермента (АПФ), и в этом исследовании в качестве положительного контроля использовали каптоприл [1]. Активность каждого образца определяли в трех экземплярах, и результаты выражали в процентах ингибирования АПФ.

2.4. Определение пробиотической активности

Проводили по способности БК, ЛК и УМК микроводорослей избирательно стимулировать рост защитных популяций *Bifidobacterium*. В качестве тест-штамма использовали *Bifidobacterium adolescentis* MC42. Тест-штамм высевали посевом в чашки Петри с последующим термостатированием в анаэробных условиях (с использованием анаэробстата и анаэробного агента) в агаризованные селективные питательные среды с добавлением определенного количества растительного экстракта (5,0%-ный, 10,0%-ный и 15,0%-ный водные растворы). Термостатирование чашек Петри осуществляли при температуре (37 ± 1) °С в течение (72 ± 3) ч в анаэробных условиях. После инкубации вели подсчет количества выросших на чашках Петри колоний. В процессе выполнения научно-исследовательской работы применяли следующее лабораторное оборудование: ламинарный бокс класс 2/тип А БАВп-01-«Ламинатор-С»-1,5 (ЗАО «Ламинаторные системы», Россия), термостат Shaking Incubator LSI-3016A (Daihan Labtech, Южная Корея), автоклав DGM-80 (Pharma Apparate Handel AG, Швейцария), микроскоп прямой AxioScope A1 (Zeiss, Германия) [19]. При реализации данной задачи использовали коммерчески доступные реактивы отечественного и импортного производства со степенью чистоты не ниже ХЧ.

2.5. Статистическая обработка данных

Данные подвергали дисперсионному анализу (ANOVA) с использованием Statistica 10.0 (StatSoft Inc., 2007, США). Апостериорный анализ (критерий Дункана) проводился для выявления образцов, существенно отличающихся друг от друга. Равенство дисперсий извлеченных выборок проверяли с помощью теста Левена. Различия между средними считались значимыми, когда доверительный интервал был меньше 5% ($p < 0,05$).

3. Результаты и обсуждение

Результаты анализа антиоксидантной активности исследуемых компонентов микроводорослей, представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Результаты анализа антиоксидантной активности БК, ЛК и УМК микроскопических водорослей
Table 1. Results of the analysis of the antioxidant activity of PC, LPC and CMC of the microscopic algae

Наименование микроводорослей	Антиоксидантная активность, мг АК/г		
	БК	ЛК	УМК
<i>C. vulgaris</i>	$1,1 \pm 0,03$	$25,9 \pm 0,8$	$35,6 \pm 1,1$
<i>A. platensis</i>	$2,1 \pm 0,03$	$25,8 \pm 0,7$	$28,4 \pm 0,9$
<i>Nostoc sp.</i>	$1,5 \pm 0,04$	$23,2 \pm 0,7$	$32,6 \pm 0,9$
<i>D. salina</i>	$1,2 \pm 0,03$	$21,3 \pm 0,6$	$21,4 \pm 0,6$
<i>P. carterae</i>	$2,1 \pm 0,03$	$22,3 \pm 0,7$	$34,5 \pm 1,0$

Результаты анализа антиоксидантной активности БК, ЛК и УМК, полученных из биомассы микроскопических водорослей, представленные в Таблице 1, свидетельствуют о том, что среди исследуемых образцов наименьшей антиоксидантной активностью обладают выделенные БК микроводорослей, а наибольшее антиоксидантное действие наблюдается у образцов УМК исследуемых микроводорослей.

Установлено, что антиоксидантная активность образцов БК незначительная и варьируется от $1,1 \pm 0,03$ мг АК/г *C. vulgaris* до $2,1 \pm 0,03$ мг АК/г *P. carterae*. ЛК микроводорослей обладают значительно большей антиоксидантной активностью, которая практически одинакова для всех исследуемых образцов. Наименьшая антиоксидантная активность наблюдается для образца ЛК *D. salina*, она составила $21,3 \pm 0,6$ мг АК/г, наибольшая — для образцов ЛК *C. vulgaris* и ЛК *A. platensis*, $25,9 \pm 0,8$ и $25,8 \pm 0,7$ мг АК/г соответственно. УМК микроводоросли *C. vulgaris* обладает наивысшей антиоксидантной активностью ($35,6 \pm 1,1$ мг АК/г), наименьшая антиоксидантная активность отмечается у образца УМК, выделенного из микроводоросли *D. salina* ($21,4 \pm 0,6$ мг АК/г). На основании представленных данных выявлено, что наибольшей антиоксидантной активностью обладают ЛК микроводорослей.

Результаты изучения антибактериальной активности БК, ЛК и УМК, полученных из биомассы микроводорослей, полученные диффузионным методом, представлены в Таблице 2. Для наглядности, на Рисунке 1 представлены показатели антимикробной активности некоторых образцов БК, ЛК и УМК против исследуемых тест-штаммов.

Таблица 2. Результаты исследования антибактериальной активности БК, ЛК и УМК, полученных из биомассы микроводорослей при помощи диффузионного метода

Table 2. The results of research of the antibacterial activity of PC, LPC and CMC obtained from the biomass of microalgae via the method of diffusion

Наименование исследуемого образца	Диаметр зоны ингибирования, мм				
	<i>P. vulgaris</i> ATCC63	<i>E. coli</i> ATCC25922	<i>B. subtilis</i> B-7918	<i>S. aureus</i> ATCC25923	<i>C. albicans</i> ЭМТК 34
БК (<i>C. vulgaris</i>)	$13,0 \pm 0,4$	—	—	$8,0 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,1$
БК (<i>A. platensis</i>)	$6,0 \pm 0,2$	—	—	—	$3,0 \pm 0,1$
БК (<i>Nostoc sp.</i>)	$13,0 \pm 0,4$	$13,0 \pm 0,3$	$14,0 \pm 0,3$	$14,0 \pm 0,4$	$12,0 \pm 0,3$
БК (<i>D. salina</i>)	—	—	$13,0 \pm 0,3$	$20,0 \pm 0,6$	$0,0 \pm 0,0$
БК (<i>P. carterae</i>)	$12,0 \pm 0,3$	$13,0 \pm 0,3$	—	$8,0 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,2$
ЛК (<i>C. vulgaris</i>)	$4,0 \pm 0,3$	$10,0 \pm 0,3$	—	$4,0 \pm 0,1$	$11,0 \pm 0,3$
ЛК (<i>A. platensis</i>)	$3,0 \pm 0,9$	—	$16,0 \pm 0,5$	$12,0 \pm 0,3$	$10,0 \pm 0,3$
ЛК (<i>Nostoc sp.</i>)	$5,0 \pm 0,1$	$8,0 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,2$	$14,0 \pm 0,4$	$13,0 \pm 0,3$
ЛК (<i>D. salina</i>)	$6,0 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,2$	$8,0 \pm 0,2$	$9,0 \pm 0,2$	$10,0 \pm 0,3$
ЛК (<i>P. carterae</i>)	$5,0 \pm 0,1$	$8,0 \pm 0,2$	$12,0 \pm 0,3$	$6,0 \pm 0,2$	$19,0 \pm 0,6$
УМК (<i>C. vulgaris</i>)	$16,0 \pm 0,5$	$18,0 \pm 0,5$	$16,0 \pm 0,5$	$19,0 \pm 0,6$	$18,0 \pm 0,5$
УМК (<i>A. platensis</i>)	$16,0 \pm 0,5$	$12,0 \pm 0,3$	$14,0 \pm 0,4$	$12,0 \pm 0,3$	$17,0 \pm 0,5$
УМК (<i>Nostoc sp.</i>)	$13,0 \pm 0,4$	$20,0 \pm 0,6$	$20,0 \pm 0,6$	$11,0 \pm 0,3$	$14,0 \pm 0,4$
УМК (<i>D. salina</i>)	$16,0 \pm 0,5$	$16,0 \pm 0,5$	$19,0 \pm 0,6$	$13,0 \pm 0,3$	$15,0 \pm 0,4$
УМК (<i>P. carterae</i>)	$15,0 \pm 0,4$	$20,0 \pm 0,6$	$14,0 \pm 0,4$	$18,0 \pm 0,5$	$16,0 \pm 0,5$
Контроль (антибиотик)	$26,0 \pm 0,8$	$28,0 \pm 0,8$	$30,0 \pm 0,9$	$22,0 \pm 0,6$	$23,0 \pm 0,7$

Исследуемые образцы белкового концентрата, липид-пигментного и углеводно-минерального комплексов, полученных из биомассы микроскопических водорослей *C. vulgaris*, *A. platensis*, *Nostoc sp.*, *D. salina*, *P. carterae*, обладают антибактериальными свойствами против исследуемых тест-штаммов микроорганизмов *P. vulgaris* ATCC63, *E. coli* ATCC25922, *B. subtilis* B-7918, *S. aureus* ATCC25923, *C. albicans* ЭМТК 34. Установлено, что БК всех микроводорослей активны против *P. vulgaris*,

B. subtilis, *S. aureus* и *C. albicans*, а белковый комплекс выделенный из микроводоросли *A. platensis* активен по отношению *P. vulgaris* (диаметр зоны ингибирования составил $6,0 \pm 0,2$ мм) и *C. albicans* (диаметр зоны ингибирования составил $3,0 \pm 0,1$ мм). Исследуемый образец БК *D. salina* обладает антимикробной активностью против всех исследуемых тест-штаммов, но не обладает антимикробной активностью против *P. vulgaris*, *E. coli*, *C. albicans*. Он пагубно влияет на развитие *B. subtilis* (диаметр зоны ингибирования составил $13,0 \pm 0,3$ мм) и *S. aureus* (диаметр зоны ингибирования составил $20,0 \pm 0,6$ мм). Установлено, что БК, выделенный из биомассы микроводорослей *P. carterae*, не оказывает никакого влияния на рост и развитие тест-штамма *B. subtilis* и активно подавляет рост других микроорганизмов.

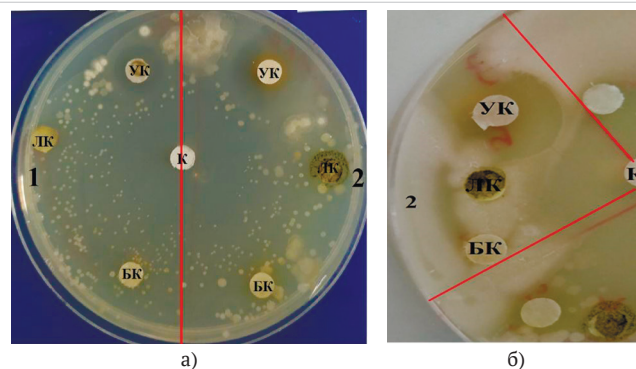


Рисунок 1. Результаты антимикробной активности исследуемых образцов против *E. coli* (А): (1- ЛК — ЛК *A. platensis*; 1- УК — УК *A. platensis*; 1-БК — БК *A. platensis*); 2- ЛК- ЛК *C. vulgaris*; 2- УК- УК *C. vulgaris*; 2-БК — БК *C. vulgaris*; против *B. subtilis* (Б): 2- УК-УМК *C. vulgaris*; 2-БК — БК *C. vulgaris*; 2- ЛК- ЛК *C. vulgaris*

Figure 1. The results of the antimicrobial activity of the studied samples vs *E. coli* (A): (1- LPC — LPC of *A. platensis*; 1- CC — CMC of *A. platensis*; 1-PC — PC of *A. platensis*); 2- LPC — LPC of *C. vulgaris*; 2-CC-CMC of *C. vulgaris*; 2-PC — PC of *C. vulgaris*; vs *B. subtilis* (B): 2-CC-CMC of *C. vulgaris*; 2-PC — PC of *C. vulgaris*; 2- LPC — LPC of *C. vulgaris*

Исследования антибактериальной активности УМК микроскопических водорослей показали высокую антибактериальную активность против *P. vulgaris* ATCC63, *E. coli* ATCC25922, *B. subtilis* B-7918, *S. aureus* ATCC25923, *C. albicans* ЭМТК 34. Так, например, образец УМК *C. vulgaris* подавляет рост *P. vulgaris* (диаметр зоны ингибирования составил $16,0 \pm 0,5$ мм), *E. coli* (диаметр зоны ингибирования составил $18,0 \pm 0,5$ мм), *B. subtilis* (диаметр зоны ингибирования составил $16,0 \pm 0,5$ мм), *S. aureus* (диаметр зоны ингибирования составил $19,0 \pm 0,6$ мм), *C. albicans* (диаметр зоны ингибирования составил $18,0 \pm 0,5$ мм); образец УМК *A. platensis* подавляет рост *P. vulgaris* (диаметр зоны ингибирования составил $16,0 \pm 0,5$ мм), *E. coli* (диаметр зоны ингибирования составил $12,0 \pm 0,3$ мм), *B. subtilis* (диаметр зоны ингибирования составил $14,0 \pm 0,4$ мм), *S. aureus* (диаметр зоны ингибирования составил $12,0 \pm 0,3$ мм), *C. albicans* (диаметр зоны ингибирования составил $17,0 \pm 0,5$ мм). Установлено, что для УМК выделенного из микроводорослей *Nostoc sp.*, *D. salina*, *P. carterae* диаметр зоны ингибирования по отношению к тест-штамму *P. vulgaris* составляет $13,0 \pm 0,4$ мм, $16,0 \pm 0,5$ мм и $15,0 \pm 0,4$ мм соответственно, по отношению к *E. coli* ATCC — $20,0 \pm 0,6$ мм, $16,0 \pm 0,5$ мм и $20,0 \pm 0,6$ мм соответственно; по отношению к *B. subtilis* — $20,0 \pm 0,6$ мм, $19,0 \pm 0,6$ мм и $14,0 \pm 0,4$ мм соответственно; по отношению к *S. aureus* ATCC25923 — $11,0 \pm 0,3$ мм, $13,0 \pm 0,3$ мм и $18,0 \pm 0,5$ мм соответственно. Также данные образцы отрицательно влияют на метаболизм *C. albicans*, что приводит к гибели данного тест-штамма.

Анализ антибактериальной активности ЛК, полученного методом экстракции из биомассы микроскопических водорослей *C. vulgaris*, *A. platensis*, *Nostoc sp.*, *D. salina*, *P. carterae*, свидетельствует о том, что наибольшей активностью против

исследуемых условно-патогенных и патогенных микроорганизмов обладает образец ЛК *A. platensis*, ЛК *Nostoc* sp. и ЛК *P. carterae*. Так, образец ЛК *A. platensis* хорошо подавляет рост и развитие *B. subtilis* (диаметр зоны ингибирования составил $16,0 \pm 0,5$ мм), *S. aureus* (диаметр зоны ингибирования составил $12,0 \pm 0,3$ мм), *C. albicans* (диаметр зоны ингибирования составил $10,0 \pm 0,3$ мм). Исследуемый образец ЛК *Nostoc* sp. способен угнетать функции жизнедеятельности всех исследуемых микроорганизмов, особенно штаммы *S. aureus* (диаметр зоны ингибирования составил $14,0 \pm 0,4$ мм) и *C. albicans* (диаметр зоны ингибирования составил $13,0 \pm 0,3$ мм); образец ЛК *P. carterae* особенно активно пагубно влияет на рост таких исследуемых микроорганизмов, как *B. subtilis* (диаметр зоны ингибирования составил $12,0 \pm 0,3$ мм) и *C. albicans* (диаметр зоны ингибирования составил $19,0 \pm 0,6$ мм).

Установлено, что исследуемые образцы ЛК *C. vulgaris* и ЛК *D. salina* угнетают жизнедеятельность исследуемых тест-штаммов микроорганизмов *P. vulgaris* ATCC63, *E. coli* ATCC25922, *B. subtilis* B-7918, *S. aureus* ATCC25923, *C. albicans* ЭМТК 34, правда зона лизиса имеет меньший диаметр.

На Рисунках 2–6 представлены результаты изучения антибактериальной активности *in vitro* образцов БК, ЛК и УМК, полученных из биомассы микроскопических водорослей,

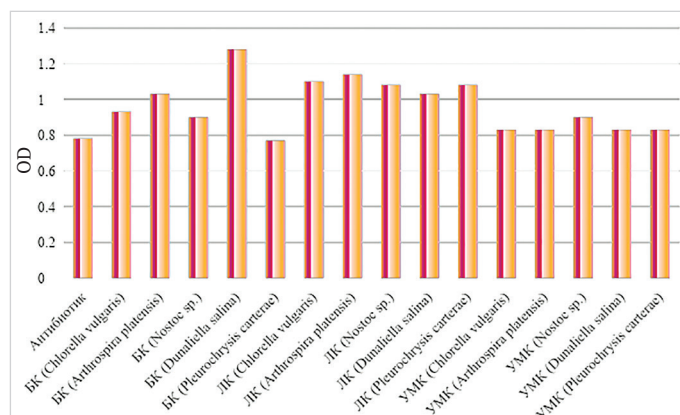


Рисунок 2. Результаты изучения антибактериальной активности *in vitro* образцов БК, ЛК и УМК, полученных из биомассы микроскопических водорослей, против *P. vulgaris* ATCC

Figure 2. Results of *in vitro* study of the antibacterial activity of PC, LPC and CMC samples obtained from the biomass of microscopic algae vs *P. vulgaris* ATCC

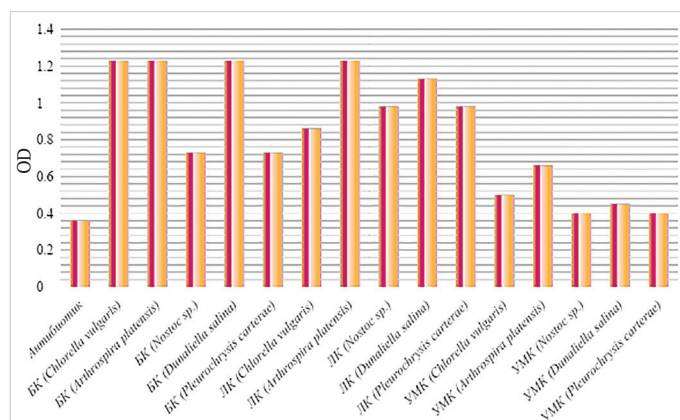


Рисунок 3. Результаты изучения антибактериальной активности *in vitro* образцов БК, ЛК и УМК, полученных из биомассы микроскопических водорослей, против *E. coli* ATCC

Figure 3. Results of *in vitro* study of the antibacterial activity of PC, LPC and CMC samples obtained from the biomass of microscopic algae vs *E. coli* ATCC

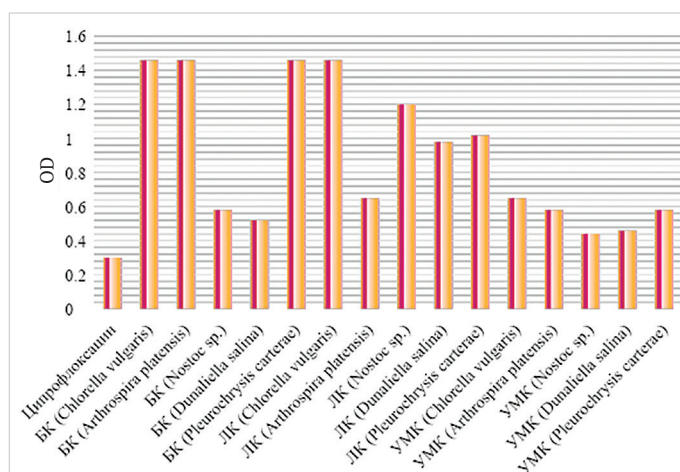


Рисунок 4. Результаты изучения антибактериальной активности *in vitro* образцов БК, ЛК и УМК, полученных из биомассы микроскопических водорослей, против *B. subtilis* B

Figure 4. Results of *in vitro* study of the antibacterial activity of PC, LPC and CMC samples obtained from the biomass of microscopic algae vs *B. subtilis* B

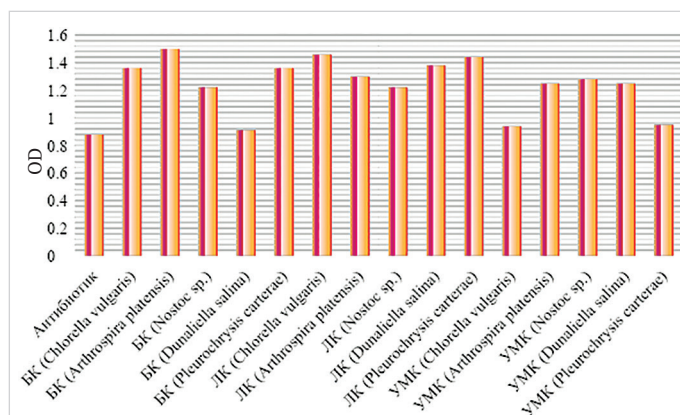


Рисунок 5. Результаты изучения антибактериальной активности *in vitro* образцов БК, ЛК и УМК, полученных из биомассы микроскопических водорослей, против *S. aureus* ATCC

Figure 5. Results of *in vitro* study of the antibacterial activity of PC, LPC and CMC samples obtained from the biomass of microscopic algae vs *S. aureus* ATCC

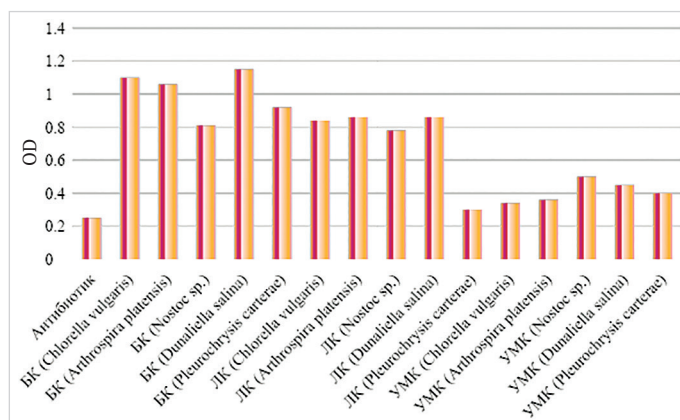


Рисунок 6. Результаты изучения антибактериальной активности *in vitro* образцов БК, ЛК и УМК, полученных из биомассы микроскопических водорослей, против *C. albicans* ЭМТК 34

Figure 6. Results of *in vitro* study of the antibacterial activity of PC, LPC and CMC samples obtained from the biomass of microscopic algae vs *C. albicans*, ЭМТК 34

против исследуемых тест-штаммов микроорганизмов *P. vulgaris* ATCC63, *E. coli* ATCC25922, *B. subtilis* B-7918, *S. aureus* ATCC25923, *C. albicans* ЭМТК 34. Результаты исследования были выявлены методом, основанным на измерении оптической плотности (в жидкой питательной среде); они подтверждают выводы, полученные диффузионным методом.

Полученные результаты по изучению фунгицидной активности (Рисунок 7) доказали, что очищенный БК и УМК из биомассы микроводорослей *C. vulgaris*, *A. platensis*, *Nostoc* sp., *D. salina*, *P. carterae* обладают выраженным противогрибковым действием против *A. niger*. ЛК микроводорослей не показал противогрибковую активность.

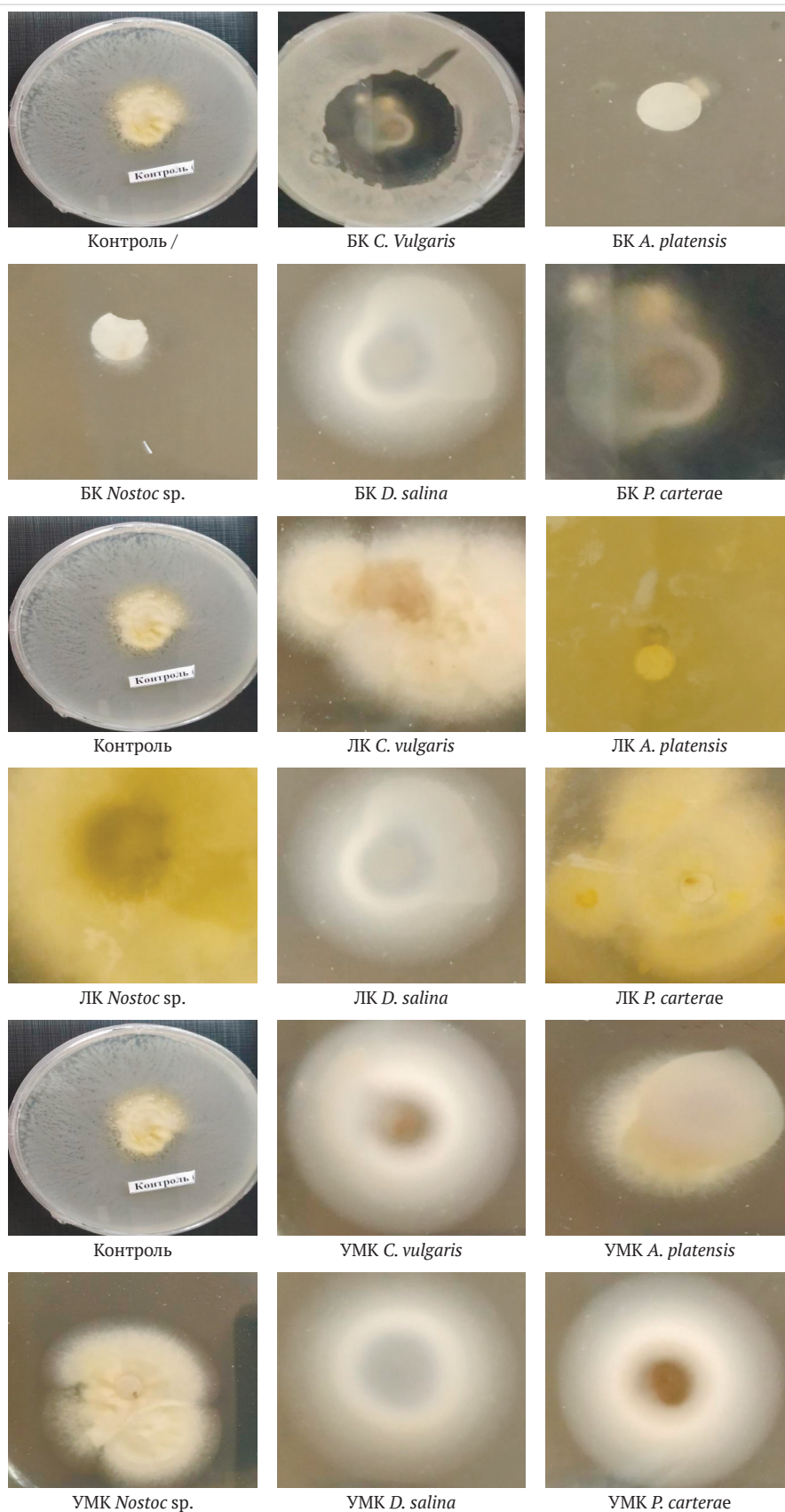


Рисунок 7. Результаты изучения фунгицидной активности БК, ЛК и УМК, выделенных из биомассы микроводорослей
Figure 7. Results of study of the fungicidal activity of PC, LPC and CMC isolated from the biomass of microalgae

Биологически активные свойства микроскопических водорослей не ограничиваются лишь наличием в ее составе высокого содержания белка, микроэлементов, витаминов, а также антиоксидантными и антимикробными свойствами. Микроскопические водоросли содержат биологически активные вещества, обладающие антигипертензивными свойствами.

Результаты определения антигипертензивной активности БК, ЛК и УМК микроводорослей представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Результаты определения антигипертензивной активности БК, ЛК и УМК микроскопических водорослей

Table 3. Results of determination of antihypertensive activity of PC, LPC and CMC of microscopic algae

Наименование микроводорослей	Антигипертензивная активность, % ингибирования АПФ		
	БК	ЛК	УМК
<i>C. vulgaris</i>	87,8±2,6	77,9±2,3	61,1±1,8
<i>A. platensis</i>	81,2±2,4	73,5±2,2	63,3±1,9
<i>Nostoc sp.</i>	82,7±2,5	70,4±2,1	64,5±1,9
<i>D. salina</i>	81,0±2,4	74,2±2,2	61,2±1,8
<i>P. carterae</i>	85,9±2,6	76,8±2,3	66,8±1,9

Установлено, что антигипертензивная активность образцов БК значительна и варьируется от 81,0% ингибирования АПФ *D. salina* до 87,8% ингибирования АПФ *C. vulgaris*. Антигипертензивная активность БК микроводорослей *A. platensis*, *Nostoc sp.* и *P. carterae* составила 81,2%, 82,7% и 85,9% ингибирования АПФ, соответственно.

ЛК обладал меньшей антигипертензивной активностью по сравнению с БК. Она составила значения для образца ЛК *C. vulgaris* 77,9% ингибирования АПФ, что больше, чем у ЛК *P. carterae*, *D. salina*, *A. platensis*, *Nostoc sp.* (76,8%, 74,2%, 73,5% и 70,4% ингибирования АПФ, соответственно).

Показано, что наименее выраженное антигипертензивное действие среди исследуемых образцов наблюдалось для УМК. УМК *C. vulgaris* обладал наименьшей антигипертензивной активностью (61,1% ингибирования АПФ), наибольшей антиоксидантной активностью обладал образец УМК, выделенного из микроводоросли *P. carterae* (66,8% ингибирования АПФ). Антигипертензивная активность образцов УМК *D. salina*, *A. platensis* и *Nostoc sp.* составляет 61,2%, 63,3%, 64,5% ингибирования АПФ, соответственно.

Динамика изменения числа клеток бифидобактерий в питательных средах, в состав которых входили БК, ЛК и УМК, полученные из биомассы микроскопических водорослей, представлены на Рисунках 8–9.

Анализ эмпирических данных по изучению пребиотических свойств БК, ЛК и УМК, полученных из биомассы ми-

кроскопических водорослей *C. vulgaris*, *A. platensis*, *Nostoc sp.*, *D. salina*, *P. carterae*, свидетельствует о том, что ЛК и образцы УМК практически не обладают пребиотическими свойствами. Установлено, что БК, выделенные из биомассы микроскопических водорослей *C. vulgaris*, *A. platensis*, *Nostoc sp.*, *D. salina*, *P. carterae*, характеризуются наличием пребиотической активности, так как они стимулируют рост тест-штамма *B. adolescentis* MC42. Присутствие БК в питательной среде способствует росту количественного содержания клеток бифидобактерии через 72 ч культивирования на 1,5–2,5 порядка в зависимости от концентрации. Следует отметить, что увеличение концентрации БК (до 10,0% и выше) нецелесообразно, поскольку при этом количество клеток бифидобактерий увеличивается незначительно.

В исследованиях ведущих ученых также была показана антимикробная активность разных экстрактов из биомассы *C. vulgaris* [21,22]. В исследовании [21] водный экстракт *C. vulgaris* показал антибактериальную активность, как в отношении грамотрицательных (*E. coli*), так и грамположительных (*S. aureus*) бактерий. Установлено, что водный экстракт в концентрации 150 мг/мл проявлял антимикробную активность в отношении *E. coli*, а диаметр зоны ингибирования составил 2,4 см [21]. Наиболее высокой антимикробной активностью в отношении *E. coli* обладала белковая фракция, полученная методом ТХУ (ТСА) из водного экстракта, с минимальной зоной ингибирования 32,5–65 мг/мл [21]. В других исследованиях экстракты зеленых одноклеточных водорослей показали выраженную антагонистическую активность в отношении многочисленных условно-патогенных и патогенных бактерий [21–24].

Установлено, что в темноте *C. vulgaris* синтезирует наночастицы серебра, для которых была изучена антимикробная активность на 3 патогенных микроорганизмах: грамотрицательной бактерии *Erwinia*, грамположительной бактерии *Bacillus sp.* и патогенного грибка *Candida*. В качестве контроля использовали специфические антибиотики пенициллин (10 мг), тетрациклин (30 мг) и стрептомицин (10 мг). Синтезированные растворы AgNP оказывали ингибирующее действие на все тестируемые микроорганизмы, со следующим порядком *Bacillus*, *Erwinia*, *Candida* по радиусу зоны ингибирования. Действие наночастиц на все испытываемые организмы было более выраженным (радиус зоны ингибирования увеличивался), чем действие нитрата серебра и пенициллина (радиус зоны ингибирования был меньше). Данный эффект можно объяснить тем, что наночастицы серебра проникали через клеточную стенку бактерий и повреждали их за счет взаимодействия с соединениями, содержащими фосфор и серу, включая ДНК [25].

В исследованиях [26,27] сообщалось, что хлореллин (смесь жирных кислот) из *C. vulgaris* проявлял ингибиру-

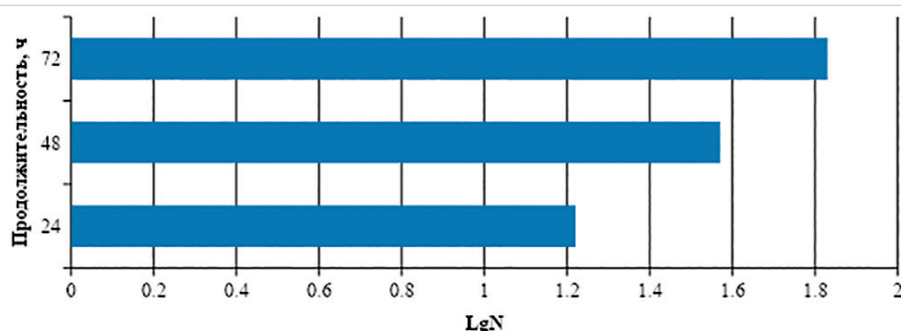


Рисунок 8. Зависимость количества клеток (lgN) *B. adolescentis* MC42 от продолжительности культивирования на питательной среде, не содержащей БК, ЛК, УМК (контроль)

Figure 8. Dependence of cells number (lgN) of *B. adolescentis* MC42 from the duration of cultivation on a nutritional medium without PC, LPC, CMC (the control sample)

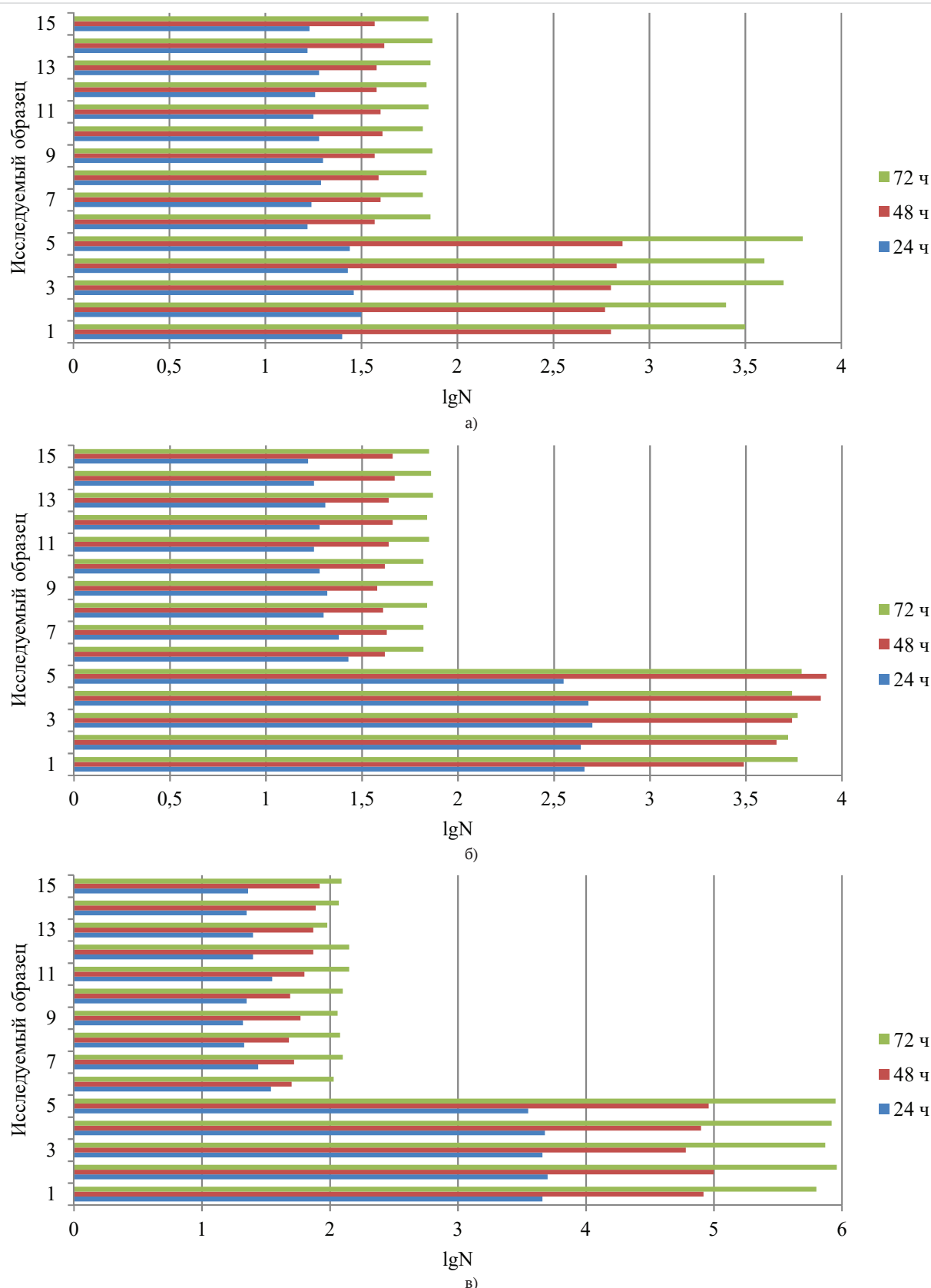


Рисунок 9. Динамика изменения количества клеток *B. adolescentis* MC42 (lgN) в питательной среде, содержащей БК, ЛК, УМК при продолжительности ферментации, при разных концентрациях: а) – 5,0%-й раствор в воде; б) – 10,0%-й раствор в воде; в) – 15,0%-й раствор в воде; 1 – БК *C. vulgaris*; 2 – БК *A. platensis*; 3 – БК *Nostoc* sp.; 4 – БК *D. salina*; 5 – БК *P. carterae*; 6 – ЛК *C. vulgaris*; 7 – ЛК *A. platensis*; 8 – ЛК *Nostoc* sp.; 9 – ЛК *D. salina*; 10 – ЛК *P. carterae*; 11 – УМК *C. vulgaris*; 12 – УМК *A. platensis*; 13 – УМК *Nostoc* sp.; 14 – УМК *D. salina*; 15 – УМК *P. carterae*

Figure 9. Dynamic pattern of changes in the cells number of *B. adolescentis* MC42 (lgN) in a nutritional medium containing PC, LPC, CMC along with the fermentation at various concentrations of substances: а) – 5.0% aqueous solution; б) – 10.0% aqueous solution; в) – 15.0% aqueous solution; 1 – PC of *C. vulgaris*; 2 – PC of *A. platensis*; 3 – PC of *Nostoc* sp.; 4 – PC of *D. salina*; 5 – PC of *P. carterae*; 6 – LPC of *C. vulgaris*; 7 – LPC of *A. platensis*; 8 – LPC of *Nostoc* sp.; 9 – LPC of *D. salina*; 10 – LPC of *P. carterae*; 11 – CMC of *C. vulgaris*; 12 – CMC of *A. platensis*; 13 – CMC of *Nostoc* sp.; 14 – CMC of *D. salina*; 15 – CMC of *P. carterae*

ющую активность, как в отношении грамположительных, так и грамотрицательных бактерий. Линоленовая кислота в этанольных экстрактах *C. vulgaris* также демонстрировала антибактериальную активность в отношении *Staphylococcus aureus* (частая причина кожных инфекций) и *Salmonella typhi* (возбудитель брюшного тифа). Это свойство позволяет предположить возможность использования *C. vulgaris* в качестве природного антибиотика и перспективной альтернативы традиционным синтетическим препаратам с более широким спектром действия против патогенных инфекций [26,28]. β -1,3-глюкан, один из наиболее важных полисахаридов, обнаруженных в образцах *C. vulgaris*, в последние годы набирает популярность у исследователей благодаря своим диетическим качествам и терапевтическим свойствам на здоровье человека, таким как удаление свободных радикалов и снижение уровня липидов в крови [26,29]. Установлено, что полисахариды *C. vulgaris* также проявляют другие полезные для здоровья эффекты, такие как противоопухолевое, противовирусное и сильное иммуномодулирующее действие, что указывает на потенциал их медицинского применения [30].

В связи с этим наши результаты подтверждают и расширяют потенциал экстрактов *C. vulgaris* для производства природных фунгицидов и бактерицидов. Использование экстрактов *C. vulgaris*, обладающих антимикробными свойствами, как альтернативы антибиотикам, в сельском хозяйстве, снижает риски появления антибиотикорезистентных бактерий и передачи человеку устойчивых к антибиотикам патогенов [31–33]. Более того, *C. vulgaris* является источником ценной биомассы, пригодной для использования в производстве различных биопродуктов [34].

Также известно о потенциале *A. platensis* в качестве антимикробного агента. Показана антимикробная активность *A. platensis* в отношении четырех видов грамположительных (*Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogene* sp.), и двух грамотрицательных (*Salmonella typhi*, *Pseudomonas aeruginosa*) бактерий путем определения зон ингибирования. *A. platensis* показала антибактериальный потенциал против всех исследованных микроорганизмов. Значения зон ингибирования тестируемых штаммов варьировались от 0.9 до 1.3 см [22].

Экстракты *A. platensis* возможно эффективно использовать в аквакультуре для борьбы с бактериальными заболеваниями [35]. Цианобактерии (синезеленые водоросли) обладают уникальными биохимическими свойствами и являются потенциальным источником биологически активных вторичных метаболитов. Микроводоросли продуцируют внутриклеточные и внеклеточные метаболиты с пребиотической, антибактериальной, антиоксидантной, противогрибковой и противовирусной активностью [22,35]. Спирулина является идеальным биоресурсом благодаря своему богатству белком, фикоцианином, незаменимыми аминокислотами, полисахаридами, каротиноидами, минералами, витаминами и незаменимыми жирными кислотами [22,35]. Она также богата витаминами, минералами, углеводами и гамма-линоленовой кислотой. Спирулина интересна не только своей пищевой ценностью, но и возможностью применения при разработке фармацевтических препаратов. Спирулина оказывает терапевтическое действие, как стимулятор роста, пробиотик и усилитель иммунной системы у животных, включая рыб [35]. Фикоцианин является основным биологически активным веществом в спирулине, и его содержание колеблется в пределах 10–15% от сухого веса [35]. Образцы спирулины проявляют противовирусные и антиоксидантные свойства против патогенов человека [35].

Таким образом, микроводоросли, помимо пищевой ценности, обладают широким спектром других свойств

и характеристик, включая антиоксидантные и антимикробные. В исследовании [24] показано, что *Ascomyces nodosum* обладали наиболее высоким ингибирующим эффектом на рост *E. coli* по сравнению с другими видами водорослей. Ингибирующее действие *A. nodosum* против роста кишечной палочки происходит, вероятно, за счет некоторых функциональных соединений водорослей, таких как флоротаннины, которые представляют собой полифенолы, обладающие бактериостатическим и бактерицидным действием [24,36]. Также *Lithothamnium calcareum* показали антимикробную и антиоксидантную активности за счет способности водорослей продуцировать метаболиты противомикробных препаратов, такие как дитерпены [37], монотерпены [38], фенольные соединения [39], стеролы [40], полисахариды [41] и жирные кислоты [40,42]. Исследования подтвердили противомикробное и антиоксидантное действия натуральных экстрактов, полученных из микроводорослей [43]. Установлено, что *A. nodosum* и *C. vulgaris* в самой высокой испытанной концентрации (1:4), обладают значительной антибактериальной способностью.

4. Выводы

В результате проведенных исследований, изучили *in vitro* антиоксидантные, антибактериальные, фунгицидные, антигипертензивные и пребиотические свойства белкового концентрата, липид-пигментного и углеводно-минерального комплексов, полученных из биомассы микроскопических водорослей.

Установлено, что наибольшая антиоксидантная активность образцов БК *P. carterae* составила $2,12 \pm 0,03$ мг АК/г. Наибольшая антиоксидантная активность образцов ЛК *C. vulgaris* составила $25,92 \pm 0,77$ мг АК/г. Наиболее выраженным антиоксидантным действием обладает УМК микроводоросли *C. vulgaris* со значением антиоксидантной активности $35,55 \pm 1,06$ мг АК/г.

Установлено, что БК микроводоросли *Nostoc sp* активен против *P. vulgaris*, *B. subtilis*, *S. aureus* и *C. albicans*, а БК, выделенный из микроводоросли *A. platensis* активен по отношению к *P. vulgaris* и *C. albicans*. Исследуемый образец БК *D. salina* обладает антимикробной активностью против всех исследуемых тест-штаммов. БК, выделенный из биомассы микроводорослей *P. carterae* не оказывает никакого влияния на рост и развитие тест-штамма *B. subtilis* и активно подавляет рост других микроорганизмов. УМК микроскопических водорослей показали высокую антибактериальную активность против *P. vulgaris* ATCC63, *E. coli* ATCC25922, *B. subtilis* B-7918, *S. aureus* ATCC25923, *C. albicans* ЭМТК 34. Установлено, что для УМК выделенного из микроводорослей *Nostoc sp.*, *D. salina*, *P. carterae* диаметр зоны ингибирования по отношению к тест-штамму *P. vulgaris* составляет $13,0 \pm 0,4$ мм, $16,0 \pm 0,5$ мм и $15,0 \pm 0,4$ мм соответственно, по отношению к *E. coli* ATCC — $20,0 \pm 0,6$ мм, $16,0 \pm 0,5$ мм и $20,0 \pm 0,6$ мм соответственно; по отношению к *B. subtilis* — $20,0 \pm 0,6$ мм, $19,0 \pm 0,6$ мм и $14,0 \pm 0,4$ мм соответственно; по отношению к *S. aureus* ATCC25923 — $11,0 \pm 0,3$ мм, $13,0 \pm 0,3$ мм и $18,0 \pm 0,5$ мм соответственно. Также данные образцы отрицательно влияют на метаболизм *C. albicans*, что приводит к гибели данного тест-штамма. Наибольшей активностью против исследуемых условно-патогенных и патогенных микроорганизмов обладают образцы ЛК *A. platensis*, ЛК *Nostoc sp.* и ЛК *P. carterae*.

Показано, что наибольшей антигипертензивной активностью обладают БК микроводорослей, а наименьшим антигипертензивным действием — образцы УМК исследуемых микроводорослей. Установлено, что антигипертензивная активность образцов БК варьируется от 81,0% ингибирования АПФ *D. salina* до 87,8% ингибирования АПФ *C. vulgaris*.

Также полученные результаты свидетельствуют о том, что ЛК комплекс обладает меньшей антигипертензивной активностью, по сравнению с БК. Наименее выраженным антигипертензивным действием среди исследуемых образцов обладает УМК.

В заключении необходимо отметить, что БК, ЛК и УМК изученных микроводорослей проявляют выраженную биологическую активность (антимикробную, антиоксидатную, пребиотическую) и обладают антигипертензивными свойствами, что открывает перспективы их использования в практических целях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Rizwan, M., Mujtaba, G., Memon, S. A., Lee, K., Rashid, N. (2018). Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 394–404. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.034>
- Villarruel-Lopez, A., Ascencio, F., Nuno, K. (2017). Microalgae, a potential natural functional food source — A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67(4), 251–263. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2017-0017>
- Sprague, M., Betancor, M. B., Tocher, D. R. (2017). Microbial and genetically engineered oils as replacements for fish oil in aquaculture feeds. *Biotechnology Letters*, 39(11), 1599–1609. <https://doi.org/10.1007/s10529-017-2402-6>
- Ferreira, G. F., Ríos Pinto, L. F., Maciel Filho, R., Fregolente, L. V. (2019). A review on lipid production from microalgae: Association between cultivation using waste streams and fatty acid profiles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 448–466. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.052>
- Scharff, C., Domurath, N., Wensch-Dorendorf, M., Schröder, F.-G. (2017). Effect of different photoperiods on the biochemical profile of the green algae *C. vulgaris* and *S. obliquus*. *Acta Horticulturae*, 1170, 1149–1156. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1170.148>
- Borowitzka, M. A. (2013). High-value products from microalgae — their development and commercialization. *Journal of Applied Phycology*, 25(3), 743–756. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-9983-9>
- Suganya, T., Varman, M., Masjuki, H. H., Renganathan, S. (2016). Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 909–941. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.026>
- Santiago-Morales, I. S., Trujillo-Valle, L., Márquez-Rocha, F. J., Hernández, J. F. L. (2018). Tocopherols, phycocyanin and superoxide dismutase from microalgae: As potential food antioxidants. *Applied Food Biotechnology* 5(1), 19–27. <https://doi.org/10.22037/afb.v5i1.17884>
- Hu, J., Nagarajan, D., Zhang, Q., Chang, J.-S., Lee, D.-J. (2018). Heterotrophic cultivation of microalgae for pigment production: A review. *Biotechnology Advances*, 36(1), 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.09.009>
- Mazumdar, N., Novis, P. M., Visnovsky, G., Gostomski, P. A. (2019). Effect of nutrients on the growth of a new alpine strain of *Haematococcus* (Chlorophyceae) from New Zealand. *Phycological Research*, 67(1), 21–27. <https://doi.org/10.1111/pre.12344>
- Mantzorou, A., Ververidis, F. (2019). Microalgal biofilms: A further step over current microalgal cultivation techniques *Science of the Total Environment*, 651, 3187–3201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.355>
- Nguyen, H. C., Su, C.-H., Yu, Y.-K., Huong, D. T. M. (2018). Sugarcane bagasse as a novel carbon source for heterotrophic cultivation of oleaginous microalga *Schizochytrium* sp. *Industrial Crops and Products*, 121, 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.005>
- Lafarga, T. (2019). Cultured microalgae and compounds derived thereof for food applications: Strain selection and cultivation, drying, and processing strategies. *Food Reviews International*, 4, 36(6), 559–583. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1655572>
- Li, Z., Li, Y., Zhang, X. (2015). Lipid extraction from non-broken and high water content microalgae *Chlorella* spp. by three-phase partitioning. *Algal Research*, 10, 218–223. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.04.021>
- Zhao, G., Chen, X., Wang, L., Zhou, S., Feng, H., Chen, W. N. et al. (2013). Ultrasound assisted extraction of carbohydrates from microalgae as feedstock for yeast fermentation. *Bioresource Technology*, 128, 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.038>
- Bleakley, S., Hayes, M. (2017). Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*, 6(5), 1–34, Article 33. <https://doi.org/10.3390/foods6050033>
- Chen, J., Li, J., Dong, W., Zhang, X., Tyagi, R. D., Drogui, P. et al. (2018). The potential of microalgae in biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 336–346. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.073>
- Su, Y., Song, K., Zhang, P. Su, Y., Cheng, J., Chen, X. (2017). Progress of microalgae biofuel's commercialization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 402–411. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.078>
- Amorim, M. L., Soares, J., Coimbra, J. S. D. R., Leite, M. D. O., Albino, L. F. T., Martins, M. A. (2020). Microalgae proteins: Production, separation, isolation, quantification, and application in food and feed. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(12), 1976–2002. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1768046>
- Phong, W. N., Show, P. L., Ling, T. C., Juan, J. C., Ng, E.-P., Chang, J.-S. (2018). Mild cell disruption methods for bio-functional proteins recovery from microalgae — Recent developments and future perspectives. *Algal Research*, 31, 506–516. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.04.005>
- Zielinski, D., Fraczyk, J., Debowski, M., Zielinski, M., Kaminski, Z., Kręgiel, D. et al. (2020). Biological activity of hydrophilic extract of *Chlorella vulgaris* grown on post-fermentation leachate from a biogas plant supplied with stillage and maize silage. *Molecules*, 25(8), Article 25081790. <https://doi.org/10.3390/molecules25081790>
- Frazzini, S., Scaglia, E., Dell'anno, M., Reggi, S., Panseri, S., Giromini, C. et al. (2022). Antioxidant and antimicrobial activity of algal and cyanobacterial extracts: An in vitro study. *Antioxidants*, 11, Article 992. <https://doi.org/10.3390/antiox11050992>
- Selivanova, E. A., Ignatenko, M. E., Nemtseva, N. V. (2014). Antagonistic activity of novel green microalgae strain. *Zhurnal Mikrobiologii Epidemiologii i Immunobiologii*, 4, 72–76.
- Pina-Pérez, M. C., Rivas, A., Martínez, A., Rodrigo, D. (2017) Antimicrobial potential of macro and microalgae against pathogenic and spoilage microorganisms in food. *Food Chemistry*, 235, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.033>
- Singh, M., Singh, S., Prasad, S., Gambhir, I. (2008). Nanotechnology in medicine and antibacterial effect of silver nanoparticles. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 3(3), 115–122.
- Ru, I. T. K., Sung, Y. Y., Jusoh, M., Wahid, M. E. A., Nagappan, T. (2020). *Chlorella vulgaris*: a perspective on its potential for combining high biomass with high value bioproducts. *Applied Phycology*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/26388081.2020.1715256>
- Mostafa, S. M. S. (2012). Microalgal biotechnology: Prospects and applications. Chapter in a book: Plant Science. London, UK: IntechOpen Ltd, 2012. <https://doi.org/10.5772/53694>
- Ahmad, M. T., Shariff, M., Yusoff, F. M., Goh, Y. M., Banerjee, S. (2018). Applications of microalga *Chlorella vulgaris* in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 328–346. <https://doi.org/10.1111/raq.12320>
- Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P.-Y., Vaca-Garcia, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>
- Tabarsa, M., Shin, I.-S., Lee, J. H., Surayot, U., Park, W. J., You, S. G. (2015). An immune-enhancing water-soluble α glucan from *Chlorella vulgaris* and structural characteristics. *Food Science and Biotechnology*, 24, 1933–1941. <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0255-0>
- Scott, A. M., Beller, E., Glasziou, P., Clark, J., Ranakusuma, R. W., Byambasuren, O., Bakht, M. et al. (2018). Is Antimicrobial Administration to Food Animals a Direct Threat to Human Health? A Rapid Systematic Review. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 52(3), 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.04.005>
- Sharma, C., Rokana, N., Chandra, M., Singh, B. P., Gulhane, R. D., Gill, J. P. S. et al. (2018). Antimicrobial resistance: Its surveillance, impact, and alternative management strategies in dairy *Frontiers in Veterinary Science*, 4(JAN), Article 237. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00237>
- Caprarulo, V., Hejna, M., Giromini, C., Liu, Y., Dell'anno, M., Sotira, S. et al. (2020). Evaluation of dietary administration of chestnut and quebracho tannins on growth, serum metabolites and fecal parameters of weaned piglets. *Animals*, 10(11), 1–15. Article 1945. <https://doi.org/10.3390/ani10111945>
- Ricky, R., Chiampo, F., Shanthakumar, S. (2022). Efficacy of ciprofloxacin and amoxicillin removal and the effect on the biochemical composition of *Chlorella vulgaris*. *Bioengineering*, 9(4), Article 134. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9040134>
- Bhuvaneswari, G. R., Shukla, S. P., Makes, M., Thirumalaiselvan, S., Sudhagar, S. A., Kothari, D. C. et al. (2013). Antibacterial activity of spirulina (*Arthrospira platensis* geitler) against bacterial pathogens in Aquaculture. *The Israeli Journal of Aquaculture — Bamidgah*, 65.
- Daglia, M. (2012). Polyphenols as antimicrobial agents. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.08.007>
- Etahiri, S., Bultel-Poncé, V., Caux, C., Guyot, M. (2001). New Bromoditerpenes from the Red Alga *Sphaerococcus Coronopifolius*. *Journal of Natural Products*, 64(8), 1024–1027. <https://doi.org/10.1021/np0002684>
- Darias, J., Rovirosa, J., San Martín, A., Díaz, A.-R., Dorta, E., Cueto, M. (2001). Furoplacamioids A — C, novel polyhalogenated furanoid monoterpenes from *Plocamium cartilagineum*. *Journal of Natural Products*, 64(11), 1383–1387. <https://doi.org/10.1021/np010297u>

39. Barreto, M., Meyer, J. J. M. (2006). Isolation and antimicrobial activity of a lanosol derivative from *Osmundaria serrata* (Rhodophyta) and a visual exploration of its biofilm covering. *South African Journal of Botany*, 72(4), 521–528. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2006.01.006>
40. Kavita, K., Singh, V. K., Jha, B. (2014). 24-Branched δ^5 sterols from *Laurencia papillosa* red seaweed with antibacterial activity against human pathogenic bacteria. *Microbiological Research*, 169(4), 301–306. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.07.002>
41. dos Santos Amorim, R. N., Rodrigues, J. A. G., Holanda, M. L., Quinderé, A. L. G., de Paula, R. C. M., Melo, V. M. M. et al. (2012). Antimicrobial effect of a crude sulfated polysaccharide from the red seaweed *gracilaria ornata*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55(2), 171–181. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132012000200001>
42. Stabili, L., Acquaviva, M. I., Biandolino, F., Cavallo, R. A., de Pascali, S. A., Fanizzi, F. P. et al. (2012). The lipidic extract of the seaweed *Gracilariopsis longissima* (Rhodophyta, Gracilariales): A potential resource for biotechnological purposes? *New Biotechnology*, 29(3), 443–450. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2011.11.003>
43. Abdel-Moneim, A.-M. E., El-Saadony, M. T., Shehata, A. M., Saad, A. M., Aldhumri, S. A., Ouda, S. M. et al. (2022). Antioxidant and antimicrobial activities of *Spirulina platensis* extracts and biogenic selenium nanoparticles against selected pathogenic bacteria and fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(2), 1197–1209. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.046>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Долганюк Вячеслав Федорович — кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт живых систем, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7-961-707-24-53 E-mail: dolganuk_vf@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0603-7456	Vyacheslav F. Dolganyuk , Candidate of Technical Sciences, Researcher, Institute of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University 14, A. Nevsky str., 236041, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-961-707-24-53 E-mail: dolganuk_vf@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0603-7456
Бабич Ольга Олеговна — доктор технических наук, доцент, директор Научно-образовательного центра, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7-906-922-09-92 E-mail: olich.43@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4921-8997	Olga O. Babich , Doctor of Technical Sciences, Docent, Director of the Scientific and Educational Center, Immanuel Kant Baltic Federal University 14, A. Nevsky str., 236041, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-906-922-09-92 E-mail: olich.43@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4921-8997
Сухих Станислав Алексеевич — доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7-960-903-62-81 E-mail: stas-asp@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7910-8388	Stanislav A. Sukhikh — Doctor of Technical Sciences., Docent, Head of Laboratory, Immanuel Kant Baltic Federal University 14, A. Nevsky str., 236041, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-960-903-62-81 E-mail: stas-asp@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7910-8388
Ульрих Елена Викторовна — доктор технических наук, заместитель директора Института агроинженерии и пищевых систем по научной и международной деятельности, Калининградский государственный технический университет 236022, г. Калининград, проспект Советский, 1 Тел.: +7-904-960-94-96 E-mail: elen.ulrich@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4107-7277 * автор для контактов	Elena V. Ulrikh , Doctor of Technical Sciences, Deputy Director of the Institute of Agroengineering and Food Systems for Scientific and International Activities, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 236022, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-904-960-94-96 E-mail: elen.ulrich@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4107-7277 * corresponding author
Каширских Егор Владимирович — кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт живых систем, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7-923-504-23-23 E-mail: egorkah@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0442-5471	Egor V. Kashirskikh , Candidate of Technical Sciences, Researcher, Institute of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University 14, A. Nevsky str., 236041, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-923-504-23-23 E-mail: egorkah@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0442-5471
Андреева Анна Петровна — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7-921-854-98-62 E-mail: andreewa.anyuta2010@yandex.kz ORCID: нет https://orcid.org/0000-0001-5521-6907	Anna P. Andreeva , Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Immanuel Kant Baltic Federal University 14, A. Nevsky str., 236041, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-921-854-98-62 E-mail: andreewa.anyuta2010@yandex.kz ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5521-6907
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/10.21323/2618-9771-2022-5-3-223-231>

Поступила 02.08.2022

Поступила после рецензирования 30.08.2022

Принята в печать 05.09.2022

© Князева А. С., Вострикова Н. Л., Куликовский А. В., Утьянов Д. А., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

МЕТОДИКА И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОЙ ДОЛИ ГЛУТАМАТА НАТРИЯ В БИОЛОГИЧЕСКИХ МАТРИЦАХ

Князева А. С.*, Вострикова Н. Л., Куликовский А. В., Утьянов Д. А.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

глутамат натрия, E621, безопасность, ВЭЖХ, пищевой продукт, биологическая матрица

АННОТАЦИЯ

За прошедшее столетие образ жизни и пищевые привычки человека кардинально изменились: жители развитых стран стали прибегать к быстрому питанию, а также ввели в обиход беспорядочные и частые перекусы. Производство диетических блюд и увеличение ассортимента продуктов питания, в т. ч. вырабатываемого из низкокачественных ингредиентов, приводит к тому, что производителю приходится использовать большое количество функциональных ингредиентов, например таких, которые улучшают вкус. Одной из широко применяемых добавок является глутамат натрия. L-глутамат натрия (E621) представляет собой натриевую соль глутаминовой кислоты, присутствующую во всех белковых продуктах и используется во всем мире в качестве усилителя вкуса пищи. В законодательстве Российской Федерации установлен уровень внесения глутамата натрия, или добавки E621, в пищевой продукт. Ввиду того, что основной вес в молекуле глутамата натрия составляет глутаминовая кислота, которая естественным образом присутствует практически во всех продуктах, вес молекулы добавки E621 определяли по содержанию аналогичной аминокислоты в пересчете на глутамат натрия. В связи с вышесказанным возникла потребность в разработке метода количественного определения массовой доли внесенного глутамата натрия при производстве пищевых продуктов питания. В рамках рассматриваемой работы предложен новый метод идентификации добавленного глутамата натрия, который не связан с природным содержанием глутаминовой кислоты. Авторами разработана методика определения массовой доли глутамата натрия в пищевых продуктах методом высокоскоростной жидкостной хроматографии с предколоночной дериватизацией. Представлена метрологическая оценка разработанной методологии, установлены показатели точности и воспроизводимости в двух диапазонах концентраций. Для диапазона от 0,1 до 1% показатель воспроизводимости установлен на уровне 17%, а показатель точности — на уровне 30%. В диапазоне же 1–10% воспроизводимость равняется 6%, точность — 10% соответственно. Также в процессе разработки методики были рассчитаны нижние пределы обнаружения количественного (Limit of Detection — LOD) и качественного (Limit of Quantification — LOQ) определения метода. LOQ составил 0,01%, а LOD = 0,1%. Методика прошла метрологическую аттестацию и внесена в Реестр методик измерений РФ. Она может применяться аккредитованными лабораториями для оценки и контроля качества пищевых продуктов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию FNEN-2019–0009 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 02.08.2022

Accepted in revised 30.08.2022

Accepted for publication 05.09.2022

© Knyazeva A. S., Vostrikova N. L., Kulikovskii A. V., Utyanov D. A., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

METHOD AND METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF MEASURING THE MASS FRACTION OF MONOSODIUM GLUTAMATE IN BIOLOGICAL MATRICES

Alexandra S. Knyazeva*, Natalia L. Vostrikova, Andrey V. Kulikovskii, Dmitry A. Utyanov

V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

KEY WORDS:

monosodium glutamate, E621, safety, HPLC, food product, biological matrix

ABSTRACT

Over the last century the people's mode of life and eating habits has dramatically changed: the people of developed countries began to consume fast food, and also started disorderly and frequent snacking. The production of dietary meals and the increase of food assortment, including food produced from low-quality ingredients, led to the manufacturer's necessity to use a large number of functional ingredients, i. e. those that improve taste of the food. Monosodium glutamate (MSG) is one of the widely used additives. Monosodium L-Glutamate (E621) is the sodium salt of glutamic acid found in all protein foods; it is used throughout the world as a food flavor enhancer. The legislation of the Russian Federation limits the content of monosodium glutamate, or additive E621, in a food product. Due to the fact that the glutamic acid takes the major weight in the monosodium glutamate molecule, which molecule is naturally present in almost all food products, the weight of the molecule of the E621 additive was determined by content of this amino acid expressed in terms of monosodium glutamate. In connection with the foregoing, it became necessary to develop a method for the quantitative determination of the mass fraction

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Князева, А. С., Вострикова, Н. Л., Куликовский, А. В., Утьянов, Д. А. (2022). Методика и метрологические характеристики измерений массовой доли глутамата натрия в биологических матрицах. *Пищевые системы*, 5(3), 223–231. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-223-231>

FOR CITATION: Knyazeva, A. S., Vostrikova, N. L., Kulikovskii, A. V., Utyanov, D. A. (2022). Method and metrological characteristics of measuring the mass fraction of monosodium glutamate in biological matrices. *Food Systems*, 5(3), 223–231. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-223-231>

of monosodium glutamate introduced into food during the production of food products. Within the framework of this research a new method for determining the share of added monosodium glutamate is proposed, which is not associated with the natural content of glutamic acid. The authors have developed a method for determining the mass fraction of monosodium glutamate in food products with the help of high performance liquid chromatography with precolumn derivatization. This research presents metrological assessment of the developed methodology, determines accuracy rates and reproducibility factors in two concentrations ranges. For a range of 0.1 to 1%, the reproducibility is set at 17% and the accuracy rate is set at 30%. For the range of 1–10%, the reproducibility is 6%, the accuracy rate is 10% respectively. Also, during the development of the method, the lower limits for the quantitative determination (Limit of Detection — LOD) and qualitative determination (Limit of Quantification — LOQ) of the method were calculated. LOQ was equal to 0.01% and LOD accounted for 0.1%. The method has successfully passed the metrological certification and is included in the Register of Measurement Methods of the Russian Federation. It can be used by accredited laboratories for assessment and control of food quality.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-2019–0009 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Употребление пищи является важным процессом для жизнедеятельности живого организма. Однако человек хочет питаться не только правильно, но и быстро и вкусно. Ритм жизни современного человека очень быстрый, и перекусы являются неотъемлемой частью быта.

Пищевые добавки, используемые в пищевой промышленности, служат обеспечению безопасности и улучшению качества продукции. Они выполняют определенные функции, придавая исходному сырью и готовому продукту желаемые свойства. Во многих случаях они необходимы для изготовления и сохранения продукта. С возрастающей потребностью предприятий пищевой промышленности в улучшении экономических показателей выпускаемой продукции произошли существенные изменения в составе и количестве используемых рецептурных ингредиентов в сторону увеличения дополнительно вносимых пищевых добавок стабилизирующего действия. К сожалению, в современной медико-биологической области не все используемые ингредиенты и пищевые добавки изучены досконально: стопроцентная уверенность в их безопасности при постоянном употреблении в пищу и при сочетании разных компонентов отсутствует. Полной информацией о возможных последствиях для организма и для следующих поколений ученые на сегодняшний день не обладают. На данный момент люди страдают от мутагенного и канцерогенного воздействия многих генотоксических агентов в повседневной жизни и на рабочих местах в связи с изменением образа жизни. К таким изменениям относят быстрое увеличение использования химических веществ, таких как лекарства, пищевые добавки, пестициды и наноматериалы. Таким образом, выяснение негативного воздействия этих химических веществ на геном человека приобрело большое значение [1].

Конечно, не все пищевые добавки априори вредны и не стоит бояться «страшного» индекса «Е», однако в больших количествах или при употреблении сочетанного фактора из разных продуктов один из ингредиентов может оказать негативное влияние на организм. Изучение влияния пищевых добавок усложняется ввиду отсутствия данных о реальном содержании заявленного ингредиента в том или ином продукте. Кроме того, бывают случаи, когда присутствие определенного ингредиента и вовсе не указано на упаковке пищевой продукции). И одной из главных проблем остается отсутствие требуемых методологий для идентификации состава пищевых продуктов. При этом стоит отметить, что методология должна быть легко и высоко достоверно воспроизводима, с целью дальнейшего применения в различных сферах и пищевых лабораториях.

Возвращаясь к теме данной работы, глутамат натрия (Е621), или натриевая соль L-глутаминовой кислоты, входящая в состав белков, является хорошо известным и широко

используемым усилителем вкуса во всем мире. Он применяется для усиления естественного вкуса птицы, мяса, закусок, морепродуктов, супов и тушеных блюд [2,3]. Е621 в наибольшей степени подчеркивает горький и соленый вкус, вызывая ощущение насыщенного мясного вкуса. Глутамат, типичный лиганд умами, часто добавляют в азиатскую кухню для улучшения вкуса пищи [4]. Вкус умами — пятый уникальный вкус. Умами в изобилии присутствует в различных продуктах, включая овощи (помидоры, картофель, капусту, грибы, морковь, сою и зеленый чай), морепродукты (рыбу, водоросли, устрицы, креветки, крабы, морские ежи, моллюски и гребешки), мясо и сыр, и в значительной степени способствует их характерному вкусу [1,5,6]. Именно этим объясняются ярко выраженный вкус и аромат пищевого продукта. В процессе хранения, термической обработки или консервации количество глутаминовой кислоты и глутаматов уменьшается, что приводит к снижению вкуса и аромата в пищевой продукции. Таким образом, добавление глутаминовой кислоты и ее солей позволяет предприятиям восстановить качество продукта и компенсировать снижение органолептических характеристик в процессе термической обработки, замораживания, консервирования и любых других технологических обработок.

Однако существуют нормы внесения пищевой добавки Е621, так как ее избыток будет оказывать негативный эффект на органолептические свойства пищевого продукта. Так, при добавлении глутаматов свыше 0,20% произойдет чрезмерное искажение вкуса и аромата продукта, например, он может получиться пересоленным, прогорклым или окислиться.

Глутаминовая кислота сама по себе является одной из протеиногенных аминокислот, и ее кодоны представляют собой GAA и GAG. Это заменимая аминокислота, имеющая функциональную группу «карбоксилатные анионы», и ее соли известны как глутаматы. Глутамат — наиболее распространенный возбуждающий нейротрансмиттер (это химические передатчики сигналов между нейронами и от нейронов на эффекторные (исполнительные) клетки) [7] в центральной нервной системе (ЦНС). Он играет ключевую роль в долгосрочной потенциации, а также участвует в метаболизме и регуляции основных физико-химических и биохимических процессов нервной системы [1,8,9]. Глутаминовая кислота принимает участие в синтезе тормозного нейромедиатора гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК), играет важную роль в энергетическом обеспечении нервных клеток, повышает устойчивость организма к гипоксии. Она способна превращаться в незаменимые аминокислоты, такие как гистидин и аргинин.

Глутамат биосинтезируется в митохондриях из промежуточного соединения цикла трикарбоновых кислот (ТКА) α-кетоглутарата с помощью трансаминазы [10]. Он не пере-

секает гематоэнцефалический барьер (ГЭБ) легко, но транспортируется высокоаффинной транспортной системой. Он также может быть преобразован в глутамин, который способен проникать через ГЭБ, а затем превращаться в глутамат под действием фосфат-активируемой глутамины [11,12] следующим образом: глутамин + H_2O переходит в глутамат + NH_3 . Похоже, что глутамат, полученный из глутамина этим путем, вырабатывается внутримитохондриально и впоследствии может подвергаться трансаминированию и катализироваться митохондриальной изоформой аспартатаминотрансферазы (АСТ). Образовавшийся α -кетоглутарат выводится из митохондрий дикарбоксилатным переносчиком и трансаминируется в цитоплазме цитоплазматической изоформой АСТ. Альтернативно глутамат может образовываться из α -кетоглутарата и аланина в реакции, катализируемой аланинаминотрансферазой (АЛТ). Этот цитоплазматический глутамат транспортируется везикулярными переносчиками глутамата, и их высвобождение контролируется концентрацией внутриклеточного кальция (Ca^{2+}).

Глутамат натрия впервые был выделен путем экстракции и кристаллизации в 1908 г. японским биохимиком Кикунэ Икеда в ходе исследований комбу (съедобные морские водоросли, часто используемые в японской кухне для приготовления бульонов). После чего ученый исследовал различные соли глутаминовой кислоты для воспроизведения его вкуса, и глутамат натрия показал наилучший результат: он хорошо растворялся в воде, а вкус был наиболее ярким. В 1909 г. был получен патент на производство глутамата натрия, и в настоящее время в мире ежегодно производится около 200 000 тонн чистого глутамата натрия [13].

С момента открытия глутамат натрия в промышленности производили тремя методами:

1. Гидролиз растительных белков с разрушением пептидных связей с помощью соляной кислоты. Данный метод использовался в 1909–1962 гг. Часто глутамат получали из зернового глютенна с последующей нейтрализацией белкового солянокислого гидролизата раствором NaOH до pH 5–6, затем уваривали, удаляли примеси, выпавшие в осадок, очищали с помощью обработки активированным углем, подкисляли до pH 3,2 и выкристаллизовывали соль в течение недели на холоде [14,15,16];
2. Прямой химический синтез из акрилонитрила: метод использовался в 1962–1973 гг., однако в связи со сложностью отделения изомеров глутаминовой кислоты перестал быть актуальным [14,15,16];
3. Бактериальная ферментация — применяемый метод и на сегодняшний день. Во время ферментации бактерии вида *Corynebacterium*, культивируемые с аммиаком и углеводами из сахарной свеклы, сахарного тростника, тапиоки или патоки, выделяют аминокислоты в культуральный бульон, из которого отделяют L-глутаминовую кислоту, которую в последствие нейтрализуют натрием [14,15,16].

С начала XX века ученые изучали метаболические функции и влияние глутамата на здоровье животных [16]. Предполагалось, что использование глутамата натрия вызывает несколько последствий для здоровья, включая головную боль и тошноту, в дополнение к фактору риска ожирения [17].

Ученый из Гонконга Квока описывал возможную связь между глутаматом натрия и синдромом «китайского ресторана». Его исследования описывают влияния данной соли на развитие таких заболеваний, как астма, диабет, ожирение и аллергический ринит, а также на повышенное артериальное давление [18,19].

Из-за изменения вкусовых предпочтений человека возросли случаи неинфекционных заболеваний (НИЗ), таких

как гипертония. Данные Китайского национального исследования питания 2002 года показывают, что каждый шестой человек страдает гипертонией. Только 19% людей с гипертонией могут контролировать артериальное давление. Однако и на данный момент ведутся работы по изучению связи между употреблением глутамата натрия и повышением артериального давления [17].

Турецкие ученые из университета Эрджиес провели исследование влияния пищевой добавки на уровень тревожности, паники, а также на память. Эксперимент проводился на крысах. Глутамат натрия вводили в организм через питьевую воду. Результаты, представленные учеными, доказали влияние глутамата на нарушение работы нервной системы. Негативные последствия для организма наблюдались уже через 12 недель [5].

Однако обзор клинических испытаний, изучающих причинно-следственную связь между потреблением глутамата натрия и неблагоприятными последствиями для здоровья, не нашел своего подтверждения из-за отсутствия надлежащих слепых экспериментов и последовательных результатов [1].

Глутамат натрия (E621) — пищевая добавка, разрешенная к применению международными, европейскими межгосударственными, национальными законодательными и нормативными документами в 12 странах [20].

Несмотря на все вышеописанные негативные воздействия глутамата на живой организм, данная добавка оказывает и положительные свойства. Ученые доказали, что глутамат натрия усиливает действие катионов на примере железа. Совместное присутствие E621 и катиона металла значительно повысили уровень гемоглобина в крови [21].

При добавлении в пищу глутамат натрия диссоциирует в нейтральной области и представляет собой свободный глутамат. Природный глутамат и глутамат, полученный из глутамата натрия, химически неразличимы, и человеческий организм метаболизирует их одинаково, независимо от источника их происхождения [3,4]. Глутамат только в свободной форме активирует вкусовые рецепторы умами, такие как T1R1 и T1R3, и считается, что эта функция опосредует реакции на богатую белком пищу [5]. Согласно данным Управления по безопасности пищевых продуктов EFSA, среднее потребление глутаматаминовой кислоты (как свободной, так и связанной с белком), рассчитанное на основе потребления белка, составило 18 г/сут, а потребление глутамата натрия — 0,55 г/сут [4]. Данный уровень потребления основан на самой высокой дозе, при которой ученые не наблюдали неблагоприятных воздействий на подопытных животных в исследованиях токсичности.

В настоящее время при выборе продуктов питания редко кто обращает внимание на их состав. Поэтому для обеспечения контроля качества продуктов необходимо контролировать содержание глутамата.

Для определения глутаминовой кислоты и ее солей было разработано несколько методик, но только одна была стандартизирована.

К таким методикам относят: капиллярный электрофорез, потенциометрический метод, ВЭТХ, ВЭЖХ метод с постколоночной дериватизацией.

В методе ВЭЖХ с постколоночной дериватизацией определение глутамата натрия в пищевых продуктах основано на регистрации светопоглощения, усиленного 1%-ным раствором нингидрина с постхроматографической дериватизацией. Линейность наблюдается в диапазоне концентраций 0,4–1,0 мкг/мл. Для регистрации анализа использовали диодно-матричный детектор [22].

В работе Волленбергера в 1989 году был предложен биосенсорный метод определения L-глутамата в жидких

приправах с использованием L-глутамата оксидазы в комбинации с перекисью водорода. Реакция биосенсора линейно зависит от концентрации L-глутамата в пределах 0,001–1,0 ммоль/л. Время измерения составляет 2 мин [23].

Электрофорезный метод утвердила компания «ЛЮМЕКС». Диапазон измеряемых масс составляет 1,0–100 г/кг для пищевых продуктов, продовольственного сырья и 2,5–100% — для пищевых добавок. Глутамат натрия измерялся с помощью капиллярного электрофореза и диодиндуцированной флуоресцентной детекции. При использовании дезактивированного капилляра, заполненного 0,6%-ным полиэтиленоксидом в 10 ммоль/л тетрабората (pH 9,3), предел обнаружения глутамата натрия составил 10–30 ммоль/л (методика М 04–90–2019¹).

Также глутаминовую кислоту и ее соли определяли методом тонкослойной хроматографии. В качестве стационарной фазы использовали пластинки Silufol UV-254, а для подвижной: н-бутанол: уксусная кислота: вода в соотношении 3:1:1, проявитель — 1%-й раствор нингидрина. Источником излучения была УФ-лампа. Результаты хроматографического разделения в образце сравнивали с результатами стандарта глутамата при тех же условиях хроматографирования. В тонкослойной хроматографии использовали люминесцентное детектирование с соответствующим маркером (ион Tb (III) с ципрофлоксацином (ЦФ)) [20]. Метод ВЭЖХ с постколоночной дериватизацией получением фенилтиогидантоинов аминокислот предусматривает модификацию аминокислот раствором фенилизотиацианата, с последующим детектированием хроматографирование на колонке и ультрафиолетовое детектирование при длине волны $\lambda = 254$ нм. Чувствительность определения глутаминовой кислоты — 1 мкг/мл. Данный метод описывался в работах Руденко в 2010 году [24].

Многие описанные выше методы либо не стандартизированы, либо нуждаются в специальном оборудовании и реактивах или недостаточно воспроизводимы и чувствительны.

В связи с вышеизложенным целью настоящей работы была разработка методики определения массовой доли глутамата натрия с использованием ВЭЖХ системы с предколоночной дериватизацией.

2. Материалы и методы

Метод основан на экстракции свободного глутамата натрия из пробы с последующей предколоночной дериватизацией и анализе методом ВЭЖХ со спектрофотометрическим или диодно-матричным детектором.

Количественное определение осуществляют по площади пика глутамата натрия относительно градуировочной зависимости, полученной при использовании градуировочных растворов чистого вещества в аналогичных условиях.

Реагенты. Использовали следующие реактивы: ацетонитрил для ВЭЖХ (Panreac, Франция), гексан (Panreac, Франция), этилацетат (Sigma Aldrich, США), муравьиную кислоту (Merck, США), кислоту соляную, х. ч. кислоту трихлоруксусную $\geq 99,0\%$, 3- меркаптопропионовая кислота $\geq 99,0\%$ (Sigma), гидроксид натрия $\geq 99,0$ гидрофосфат натрия $\geq 99,0$, тетраборат натрия б/в $\geq 99,0$, тетраборат натрия декагидрат $\geq 99,5\%$, деионизированную воду получали на системе Milli Q Direct 8 (Франция). В качестве стандартного образца использовали: акриламид с содержанием основного вещества не менее 99,0% производства компании Sigma-Aldrich (США).

¹ Методика М 04–90–2019 «Пищевые продукты, продовольственное сырье, пищевые добавки. Методика измерений массовой доли глутаминовой кислоты и ее солей методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель»» — С.П.: Люмэкс-маркетинг. 2019

В качестве объектов исследования были выбраны такие биологические матрицы (б/м):

- 1 б/м — вареная колбаса;
- 2 б/м — паштет печеночный.

Для оценки сходимости готовили лабораторные пробы с внесением глутамата натрия в рецептуру вареной колбасы, выработанной по ГОСТ 23670–2019² в условиях реального производства в количестве 9 образцов, для оценки воспроизводимости печеночный паштет по ГОСТ Р 55336–2012³.

Также для мониторинговых исследований были взяты образцы мясных изделий:

- № 1–8 — варено-копченые колбасы, выработанные по ГОСТ Р 55455–2013⁴
- № 9–16 — вареные колбасы, выработанные по ГОСТ 23670–2019⁵
- № 17–24 — сырокопченые колбасы, выработанные по ГОСТ Р 55456–2013⁶.

Подготовка проб к анализу методом ВЭЖХ. Образцы измельчали с использованием гомогенизатора BUCHI B-400 (Buchi, Швейцария). Гомогенизированную пробу массой 5 г помещали в центрифужную пробирку. К взвешенному образцу приливали 4 см³ 20% трихлоруксусную кислоту (ТХУ) и доводили соляным буфером pH 2,2 до 30 см³. К полученному раствору добавляли 5 см³ гексана. Смесь тщательно перемешивали и выдерживали в течение 1 ч при температуре от 18 °C до 25 °C. Затем экстракт центрифугировали в течение 5 мин при 2000 g и водный слой фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. После этого фильтрат переносили в виалу.

Дериватизацию проводили в автоматическом режиме при помощи устройства введения проб, в хроматограф вводили: 10 мм³ раствора ортофталевого альдегида и 2 мм³ раствора пробы. Объем введенной пробы составлял 12 мм³.

Результаты измерений определяли при длине волны 338 нм и следующих параметрах:

- а) температура колонок 40 °C;
- б) подвижная фаза А: ацетонитрил: карбинол: вода (45:45:10);
- в) подвижная фаза В: 10 mM Na₂HPO₄, 10 mM Na₂B₄O₇, pH 8,2;
- г) скорость потока 1 мл/мин;
- д) режим элюирования — градиентный по Таблице 1.

Таблица 1. Параметры градиентного режима

Table 1. Gradient mode parameters

Время, мин	Объемная доля элюента А, %	Объемная доля элюента В, %
0	2	98
0,5	2	98
20	57	43
20,1	100	0
23,5	100	0
23,6	2	98
25	2	98

Результаты выхода глутамата натрия представлены на Рисунке 1.

² ГОСТ 23670–2019 «Изделия колбасные вареные. Технические условия». — М.: Стандартинформ, 2019. — 15 с.

³ ГОСТ Р 55336–2012 «Консервы мясные паштетные. Технические условия». — М.: Стандартинформ, 2019. — 31 с.

⁴ ГОСТ Р 55455–2013 «Колбасы варено-копченые. Технические условия». — М.: Стандартинформ, 2019. — 15 с.

⁵ ГОСТ 23670–2019 «Изделия колбасные вареные мясные. Технические условия». — М.: Стандартинформ, 2019. — 31 с.

⁶ ГОСТ Р 55456–2013 «Колбасы сырокопченые. Технические условия». — М.: Стандартинформ, 2014. — 18 с.

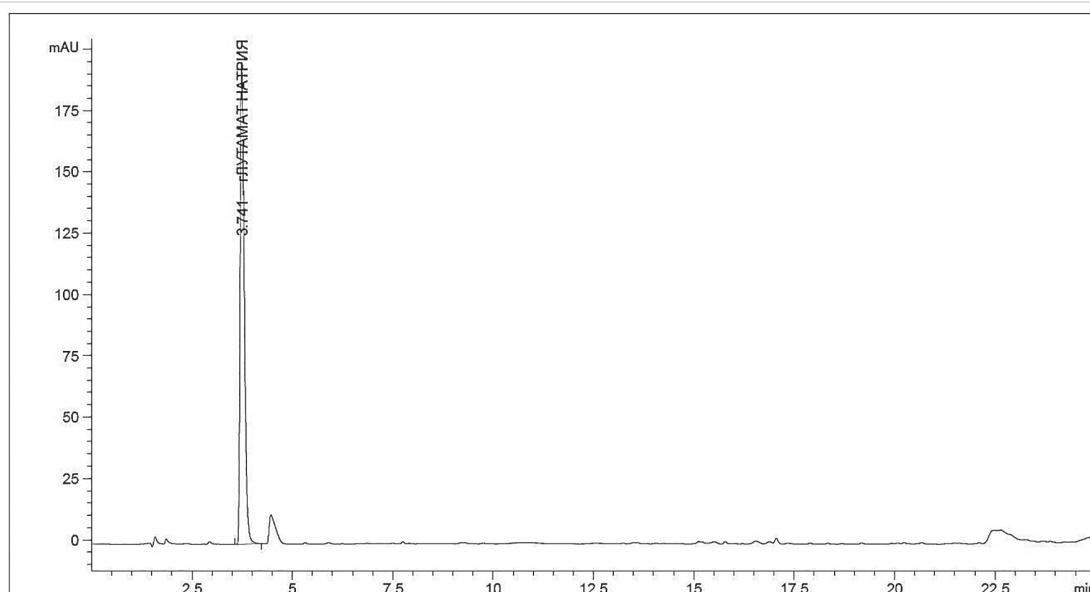


Рисунок 1. Хроматограмма глутамата натрия с концентрацией 400 мкг/см³, колонка C18 PA, 3,5 μm 4,6 × 150 mm
Figure 1. Chromatogram of monosodium glutamate at a concentration of 400 μg/cm³, C18 PA column, 3.5 μm 4.6 × 150 mm

3. Результаты и обсуждение

Для подтверждения или опровержения вынесенной на этикетку информации о глутамате натрия в составе контролирующих органов и аккредитованным лабораториям необходимо иметь высоко достоверный метод, метрологически подтвержденный и легко воспроизводимый.

Существует несколько способов определения как связанных, так и не связанных с белком аминокислот, однако ни один из методик не предполагает выявления добавленной соли глутаминовой кислоты. Кроме того, фоновые пороги глутаминовой кислоты или глутамата натрия для различных биологических матриц не прописаны, порог отсеивания на содержание природных концентраций отсутствует.

Одной из популярных методик в арсенале аналитической лаборатории в последнее время является методология, основанная на ВЭЖХ, в связи с чем для исследования была выбрана именно она. Самым сложным представлялся процесс подбора условий хроматографического разделения и выбор способов детектирования. За основу была взята методология определения L-(+)-глутаминовой кислоты по ГОСТ 34448-2018⁷, предложенная авторами и ранее стандартизированная.

Метод основан на экстракции свободного глутамата натрия из пробы с последующей предколоночной дериватизацией и на анализе методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) со спектрофотометрическим или диодно-матричным детектором.

Количественное определение осуществляют по площади пика глутамата натрия относительно градуировочной зависимости, полученной при использовании градуировочных растворов чистого вещества в аналогичных условиях.

Разработка методологии происходила в несколько этапов:

- ❑ подбор условий разделения и детектирования глутамата натрия в стандартной смеси;
- ❑ построение калибровочной кривой;
- ❑ проверка стабильности градуировочной характеристики;
- ❑ установление LOQ и LOD пределов метода;
- ❑ контроль сходимости и воспроизводимости метода;
- ❑ установление границ относительной погрешности метода.

Подобрав условия детектирования, устанавливали градуировочные зависимости и определяли пределы детектирования и обнаружения метода.

Для определения глутамата натрия готовили градуировочные растворы массовой концентрации 50 мкг/см³, 100 мкг/см³, 200 мкг/см³, 400 мкг/см³.

На Рисунке 2 представлена градуировочная зависимость светопоглощения УФ-излучения от концентрации глутамата натрия в растворе.

Также для построения калибровочной кривой можно использовать и глутаминовую кислоту, в этом случае применяют коэффициент пересчета 1,15.

Коэффициент линейной корреляции полученной градуировочной зависимости должен быть не менее 0,99. При невыполнении этого условия необходимо выяснить и устранить причины, приводящие к неудовлетворительным результатам. В случае необходимости необходимо приготовить новые градуировочные растворы.

Для расчета нижних пределов обнаружения количественного (Limit of Detection — LOD) и качественного (Limit of Quantification — LOQ) определения метода отобрали 16 образцов мышечной ткани без добавок, в которые вносили исследуемый аналит в концентрации 0,01; 0,05; 0,1 и 0,15%. LOQ составил 0,01%, а LOD = 0,1% соответственно.

При метрологической аттестации данного метода были рассчитаны значения пределов повторяемости, воспроизводимости при доверительной вероятности P = 0,95 (Таблица 3) для двух диапазонов концентраций.

Таблица 3. Значения пределов повторяемости, воспроизводимости и критического диапазона при доверительной вероятности P = 0,95

Table 3. Values of limits of repeatability, reproducibility and critical range at a confidence coefficient P = 0.95

Диапазон измерений массовой доли глутамата натрия, %	Предел повторяемости (допускаемое относительное расхождение между двумя результатами параллельных определений), г, %	Показатель точности (границы относительной погрешности при доверительной вероятности P = 0,95), ± δ
от 0,1 до 1,0 вкл.	17	30
св. 1,0 до 10,0 вкл.	6	10

Затем проверяли условия сходимости и воспроизводимости метода.

⁷ ГОСТ 34448-2018 «Мясо и мясные продукты. Методы определения L-(+)-глутаминовой кислоты». — М.: Стандартинформ, 2018. — 13 с.

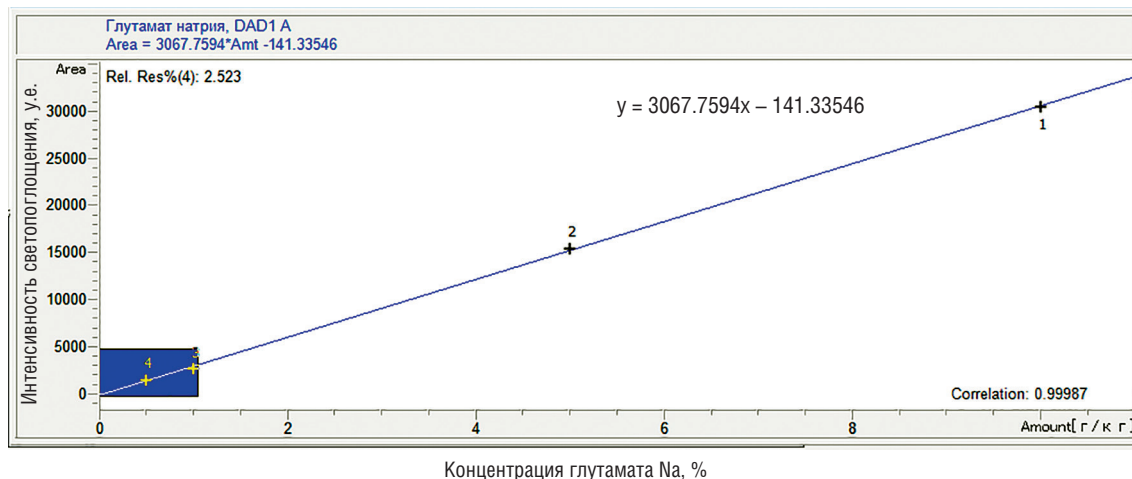


Рисунок 2. График функции калибровочной зависимости светопоглощения УФ излучения от концентрации глутамата натрия в растворе

Figure 2. Function curve of the calibration dependence of light absorption of UV radiation on monosodium glutamate concentration in a solution

Для этого сходимость и воспроизводимость проводили на специальном эксперименте с методом добавок стандартных веществ глутамата натрия в различных диапазонах концентраций. Интерес представлял оценка как на пределе обнаружения метода, так и при достаточно весомом внесении рассматриваемой добавки глутамата натрия. Результаты представлены в Таблице 4.

Таблица 4. Результаты в бланковой матрице при внесении глутамата натрия в двух уровнях концентраций, охватывающих нижний и верхний диапазоны методики

Table 4. Results in a blank matrix when adding monosodium glutamate at two concentrations, covering the lower and upper ranges of the method

№ пробы	Сходимость		Воспроизводимость	
	Концентрация внесенной добавки глутамата натрия, %			
	С _{доб} 0,14	С _{доб} 10,00	С _{доб} 0,14	С _{доб} 10,00
x1	0,15	10,00	0,15	10,00
x2	0,15	10,01	0,16	9,89
x3	0,14	10,05	0,17	9,91
x4	0,14	10,01	0,17	9,95
x5	0,13	10,03	0,14	10,01
x6	0,14	10,00	0,15	9,87
x7	0,14	10,00	0,16	9,92
x8	0,15	10,05	0,17	9,97
x9	0,15	10,04	0,18	9,90
x10	0,15	10,02	0,18	9,90
x11	0,14	10,03	0,16	9,98
x12	0,14	10,01	0,18	9,99
x13	0,15	10,02	0,15	10,02
x14	0,14	10,00	0,16	9,98
x15	0,15	10,00	0,18	9,94
x16	0,14	10,03	0,15	10,01
х ср	0,14	10,02	0,16	9,95

Для расчета условий сходимости и воспроизводимости метода рекомендуется использовать не менее 16 единичных результатов измерений, в соответствии с ГОСТ Р ИСО 21748–2021⁸. При анализе рабочих проб были получены хорошие сходимости и воспроизводимости раз-

⁸ ГОСТ Р ИСО 21748–2021 Статистические методы «Руководство по использованию оценок повторяемости, воспроизводимости и правильности при оценке неопределенности измерений». — М.: Российский институт стандартизации, 2021. — 36 с.

работанного метода. Затем для оценки пригодности метода в условиях рутинной лаборатории были проведены работы по верификации разработанной методологии на реальных матрицах мясной продукции.

Для этого выработали продукцию, по рецептуре вареной колбасы по ГОСТ 23670–2019, и печеночный паштет по ГОСТ Р 55336–2012, с внесением на этапе производства глутамата натрия в количестве 0,3 до 1,2 г/100 г. С учетом факторов потери при технологических операциях было дополнительно внесено 30% глутамата натрия. Таким образом, расчетными значениями должны служить для проб вареных колбас — 0,39% и для паштетов — 1,56%. Образцы 1 б/м и 2 б/м, отражающие нативные концентрации глутамата натрия в пробе, служили в качестве контроля. Целью исследования консервов была оценка нативного содержания глутамата натрия для получения информации о влиянии высоких температур (порядка 120 °С) на разрыв пептидных связей в мясном белке. Содержание нативного уровня натриевой соли глутаминовой кислоты в обоих образцах было определено на уровне 0,03–0,07%. Ниже на Рисунке 3 представлена оценка сходимости разработанной методологии на примере эксперимента определения глутамата натрия при внесении в рецептуру вареных колбас.

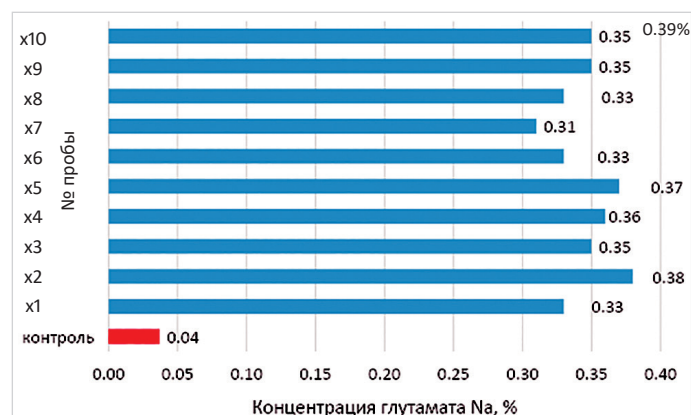


Рисунок 3. Диаграмма оценки сходимости метода (N = 10)

Figure 3. Diagram of the method convergence evaluation (N = 10)

Количество единичных параллельных определений для каждой рабочей пробы n = 3.

Таким образом, в условиях рутинной лаборатории при верификации разработанного метода определения глутамата натрия в пробах с заранее внесенной концентрацией

искомого аналита, равной $C = 0,39\%$, была установлена дисперсия разброса в $0,03\text{--}0,04\%$ от среднего значения, что входит в условия погрешности метода $0,35 \pm 0,11\%$.

Также был проведен аналогичный эксперимент на примере другого диапазона концентраций. В эксперименте принимало участие 3 аккредитованных лаборатории, на базе которых первоначально была проведена оценка адекватности разработанной методологии, и впоследствии они же приняли участие в межлабораторном эксперименте.

Лаборатория № 1 — эксперимент x1, x2, x3;

Лаборатория № 2 — эксперимент x3, x4, x5;

Лаборатория № 3 — эксперимент x6, x7, x8.

На Рисунке 4 представлены данные эксперимента.

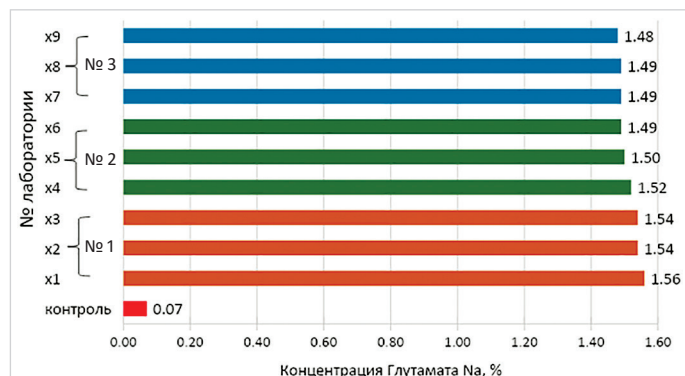


Рисунок 4. Диаграмма воспроизводимости метода на примере печеночного паштета

Figure 4. Method reproducibility diagram on the example of a liver pate

При исследовании образцов паштета с внесенной добавкой глутамата натрия была получена дисперсия разброса значений $0,03\text{--}0,05\%$ от среднего значения, что входит в условия погрешности метода $1,51 \pm 0,45\%$. Концентрация искомого аналита составила $1,56\%$.

Разработанный и стандартизированный метод, описанный выше, был использован для мониторинга качества колбасных изделий (выработанных по ГОСТ, в промышленных условиях № 1–16, № 17–27 выработанных по ТУ) с разным способом технологической обработки: вареные, варено-копченые и сырокопченые. По рассчитанным ранее данным $LOD = 0,1\%$ результаты мониторинга представлены в Таблице 5.

Таким образом, при проведении мониторинговых исследований было обнаружено, что практически все колбасы, за исключением № 12–14, содержали значения искомого глутамата натрия в концентрациях выше диапазона определения методики. Нормативные документы, по которым производилась выработка исследованных образцов, допускают добавление пищевых добавок усилителей вкуса и аромата. Как написано выше, нормируемый уровень в ТР ТС 029⁹ внесения глутамата натрия в пищевой продукт составляет 10 г/кг , или 1% . Все мясные изделия мониторингового исследования не превышают установленного значения.

Предколоночная дериватизация имеет явные преимущества, а именно стабильность выхода продукта по времени, высокую чувствительность, селективность и уникальный дериватизирующий агент.

Существует как предколоночная дериватизация, так и постколоночная. Если сравнивать эти две методологии манипуляций с аналитической пробой, во втором случае непрерывный поток в режиме реального времени даст пре-

имущество в качестве, скорости химических реакций, которые обеспечат высокую чувствительность за короткое время анализа, но в то же время окажут влияние на полноту образования производных продуктов дериватизации.

Таблица 5. Мониторинговые исследования колбасных изделий

Table 5. Monitoring studies of sausage products

№ образца	Вид колбасного изделия	Концентрация глутамата натрия, %
1	варено-копченая	$0,33 \pm 0,10$
2		$0,34 \pm 0,10$
3		$0,11 \pm 0,03$
4		$0,34 \pm 0,10$
5		$0,24 \pm 0,07$
6		$0,16 \pm 0,05$
7		$0,30 \pm 0,11$
8		$0,16 \pm 0,05$
9		$0,11 \pm 0,03$
10		$0,17 \pm 0,05$
11	вареная	$0,24 \pm 0,07$
12		Менее $0,10$
13		Менее $0,10$
14		Менее $0,10$
15		$0,11 \pm 0,03$
16		$0,33 \pm 0,10$
17		$0,50 \pm 0,15$
18		$0,54 \pm 0,16$
19		$0,50 \pm 0,06$
20		$0,78 \pm 0,23$
21	сырокопченая	$0,60 \pm 0,17$
22		$0,72 \pm 0,22$
23		$0,37 \pm 0,11$
24		$0,48 \pm 0,14$

При этом методики, основанные на постколоночной дериватизации, показывают, как правило, меньшую вариативность результатов анализа, чем методики, основанные на предколоночной дериватизации.

Стоит также отметить, что и расход реагентов в постколоночной дериватизации будет значительно выше по сравнению с предколоночной дериватизацией, что так же будет отражаться на ценообразовании данного исследования.

Вышеперечисленные достоинства позволяют рекомендовать предколоночную дериватизацию для идентификации и количественного определения глутамата натрия в пищевой промышленности. Поэтому авторы остановили свой выбор на методе с предколоночной дериватизацией, которую проводят перед забором, тогда аналит в пробе практически 100% прореагирует с дериватизирующим агентом.

4. Заключение

В результате проведенной работы была разработана методика определения массовой доли глутамата натрия с использованием ВЭЖХ системы с предколоночной дериватизацией в мясной продукции. Обоснованы и установлены метрологические параметры, такие как сходимости и воспроизводимости, нижние границы качественного и количественного предела обнаружения для двух диапазонов концентраций (от $0,1$ до $1,0\%$ и св. $1,1$ до $10,0\%$ включительно). Также были рассчитаны границы относительной погрешности при доверительной вероятности 95% . Для первого диапазона установлена граница 30% , и для второго — 10% .

⁹ ТР ТС 029 Технический регламент Таможенного союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств». — ЕЭК, 2012. — 428 с.

Внедрение и использование данного метода определения глутамата натрия в химико-аналитическую лабораторию позволит использовать любую ВЭЖХ систему с УФ или диодно-матричным детектором, единственной модификацией может быть настраиваемый автосамплер, но и в ручном режиме можно произвести дериватизацию.

Также метод с предколоночной дериватизацией обладает высокой чувствительностью и селективностью.

Разработанная методология была аттестована на базе ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (свидетельство об аттестации методики измерений № 241.0224/RA.RU.311866/2019 от 11 ноября 2019 г.) и внедрена в лабораторию. При помощи разработанной методологии было успешно проанализировано более 700 проб мясной продукции. Так же разработанная методика была от валидированная на другие матрицы, содержащие глутамат натрия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brosnan, J. T., Brosnan, M. E. (2013). Glutamate: a truly functional amino acid. *Amino Acids*, 45(3), 413–418. <https://doi.org/10.1007/s00726-012-1280-4>
2. Ataseven, N., Yüzbaşıoğlu, D., Keskin, A. T., Ünal, F. (2016). Genotoxicity of monosodium glutamate. *Food and Chemical Toxicology*, 91, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.02.021>
3. Adeyemo, O. A., Farinmade, A. E. (2013). Genotoxic and cytotoxic effects of food flavor enhancer, monosodium glutamate (MSG) using Allium cepa assay. *African Journal of Biotechnology*, 12(13), 1459–1466. <https://doi.org/10.5897/AJB12.2927>
4. Li, F.-Y., Yang, W.-H., Chang, C.-I., Lee, S.-J., Hung, C.-C., Chen, Y.-J. et al. (2013). Concurrent accumulation of myricetin and gallic acid putatively responsible for the umami taste of a specialized old oolong tea. *Journal of Food and Nutrition Research*, 1(6), 164–173. <https://doi.org/10.12691/jfmr-1-6-8>
5. Zolotarev, V. A. (2014). Dietary free amino acids and the gastric phase of digestion. *Current Pharmaceutical Design*, 20(16), 1–7. <https://doi.org/10.2174/13816128113199990581>
6. Henry-Unaeze, H. (2022). Monosodium glutamate in foods and its biological importance. Chapter in a book: Ensuring Global Food Safety. Academic Press, 2022. 17, 341–357. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816011-4.00022-7>
7. Кулинский, В. И. (2001). Нейротрансмиттеры и головной мозг. *Соросовский образовательный журнал*, 7(6), 11–16.
8. Ma, M., Quan, Y., Li, Y., He, X., Xiao, J., Zhan, M. et al. (2018). Bidirectional modulation of insulin action by reactive oxygen species in 3T3-L1 adipocytes. *Molecular Medicine Reports*, 18(1), 807–814. <https://doi.org/10.3892/mmr.2018.9016>
9. Yan, M., Zhu, W., Zheng, X., Li, Y., Tang, L., Lu, B. et al. (2016). Effect of glutamate on lysosomal membrane permeabilization in primary cultured cortical neurons. *Molecular Medicine Reports*, 13(3), 2499–2505. <https://doi.org/10.3892/mmr.2016.4819>
10. Zhang, J., Pavlova, N. N., Thompson, C. B., (2017). Cancer cell metabolism: the essential role of the nonessential amino acid, glutamine. *EMBO Journal*, 36(10), 1302–1315. <https://doi.org/10.15252/embj.201696151>
11. Sulkowski, G., Dąbrowska-Bouta, B., Salińska, E., Struzyńska, L. (2014). Modulation of glutamate transport and receptor binding by glutamate receptor antagonists in EAE rat brain. *PLoS One*, 9(11) Article e113954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113954>
12. Lu, M.-J., Chiu, T.-C., Chang, P.-L., Ho, H.-T., Chang, H.-T. (2005). Determination of glycine, glutamine, glutamate, and γ -aminobutyric acid in cerebrospinal fluids by capillary electrophoresis with light-emitting diode-induced fluorescence detection. *Analytica Chimica Acta*, 538(1–2), 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.02.041>
13. Sano, C. (2009). History of glutamate production. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90(3), 728S–732S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27462F>
14. Butnariu, M., Sarac, I. (2019). What is sodium glutamate and what effects it has on health. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 6(5), 223–226. <https://doi.org/10.15406/jabb.2019.06.00195>
15. Aramesh M., Ajoudanifar H. (2017). Alkaline protease producing *Bacillus* isolation and identification from Iran. *Banat's Journal of Biotechnology*, 8(16), 140–147. [https://doi.org/10.7904/2068-4738-viii\(16\)-140](https://doi.org/10.7904/2068-4738-viii(16)-140)
16. Sato, Y., Nakanishi, T., Takeda, M., Oishi, K., Hirooka, H., Kumagai, H. (2019). Effects of supplementary mother liquor, by-product of monosodium glutamate, on in vitro ruminal fermentation characteristics. *Animal Science Journal*, 90(1), 90–97. <https://doi.org/10.1111/asj.13132>
17. Obayashi, Y., Nagamura, Y. (2016). Does monosodium glutamate really cause headache? A systematic review of human studies. *Journal of Headache and Pain*, 17(1), Article 54. <https://doi.org/10.1186/s10194-016-0639-4>
18. Banerjee, A., Mukherjee, S., Maji, B.K. (2021). Worldwide flavor enhancer monosodium glutamate combined with high lipid diet provokes metabolic alterations and systemic anomalies: An overview. *Toxicology Reports*, 8, 938–961. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.04.009>
19. Zhao, Y., Li, J.-Y., Yin, L., Feng, L., Liu, Y., Jiang, W.-D. et al. (2019). Effects of dietary glutamate supplementation on flesh quality, antioxidant defense and gene expression related to lipid metabolism and myogenic regulation in Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture*, 502, 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.050>
20. Baad-Hansen, L., Cairns, B. E., Ernberg, M., Svensson, P. (2010). Effect of systemic monosodium glutamate (MSG) on headache and pericranial muscle sensitivity. *Cephalalgia*, 30(1), 68–76. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2982.2009.01881.x>
21. Niaz, K., Zaplatic, E., Spoor, J. (2018). Extensive use of monosodium glutamate: A threat to public health? *EXCL Journal*, 17, 273–278. <https://doi.org/10.17179/excli2018-1092>
22. Veni, N., Karthika, D., Surya Devi, M., Rubini M. F., Vishalini, M., Pradeepa, Y. J. (2010). Analysis of Monosodium L-Glutamate in Food Products by HighPerformance Thin Layer Chromatography. *Journal of Young Pharmacists*, 2(3), 297–300. <https://doi.org/10.4103/0975-1483.66795>
23. Soldatkina, O. V., Soldatkin, O. O., Kasap, B. O., Kucherenko, D. Y., Kucherenko, I. S., Kurc, B. A. et al. (2017). A novel amperometric glutamate biosensor based on glutamate oxidase adsorbed on silicalite. *Nanoscale Research Letters*, 12(1), Article 260. <https://doi.org/10.1186/s11671-017-2026-8>
24. Бельтюкова, С. В., Малинка, Е. В. (2016). Определение глутамата натрия методом тонкослойной хроматографии с люминесцентным детектированием. *Вестник Одесского национального университета. Химия*, 21(1(57)), 50–58. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2016.1\(57\).67511](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2016.1(57).67511)
25. Руденко, А. О., Карцова, Л. А., Снарский, С. И. (2010). Определение важнейших аминокислот в сложных объектах биологического происхождения методом обращённо-фазовой ВЭЖХ с получением фенилтиогидантоинов аминокислот. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 10(2), 223–230.

REFERENCES

1. Brosnan, J. T., Brosnan, M. E. (2013). Glutamate: a truly functional amino acid. *Amino Acids*, 45(3), 413–418. <https://doi.org/10.1007/s00726-012-1280-4>
2. Ataseven, N., Yüzbaşıoğlu, D., Keskin, A. T., Ünal, F. (2016). Genotoxicity of monosodium glutamate. *Food and Chemical Toxicology*, 91, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.02.021>
3. Adeyemo, O. A., Farinmade, A. E. (2013). Genotoxic and cytotoxic effects of food flavor enhancer, monosodium glutamate (MSG) using Allium cepa assay. *African Journal of Biotechnology*, 12(13), 1459–1466. <https://doi.org/10.5897/AJB12.2927>
4. Li, F.-Y., Yang, W.-H., Chang, C.-I., Lee, S.-J., Hung, C.-C., Chen, Y.-J. et al. (2013). Concurrent accumulation of myricetin and gallic acid putatively responsible for the umami taste of a specialized old oolong tea. *Journal of Food and Nutrition Research*, 1(6), 164–173. <https://doi.org/10.12691/jfmr-1-6-8>
5. Zolotarev, V. A. (2014). Dietary free amino acids and the gastric phase of digestion. *Current Pharmaceutical Design*, 20(16), 1–7. <https://doi.org/10.2174/13816128113199990581>
6. Henry-Unaeze, H. (2022). Monosodium glutamate in foods and its biological importance. Chapter in a book: Ensuring Global Food Safety. Academic Press, 2022. 17, 341–357. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816011-4.00022-7>
7. Kulinsky, V. I. (2001). Neurotransmitters and the brain. *Soros Educational Journal*, 7(6), 11–16. (In Russian)
8. Ma, M., Quan, Y., Li, Y., He, X., Xiao, J., Zhan, M. et al. (2018). Bidirectional modulation of insulin action by reactive oxygen species in 3T3-L1 adipocytes. *Molecular Medicine Reports*, 18(1), 807–814. <https://doi.org/10.3892/mmr.2018.9016>
9. Yan, M., Zhu, W., Zheng, X., Li, Y., Tang, L., Lu, B. et al. (2016). Effect of glutamate on lysosomal membrane permeabilization in primary cultured cortical neurons. *Molecular Medicine Reports*, 13(3), 2499–2505. <https://doi.org/10.3892/mmr.2016.4819>
10. Zhang, J., Pavlova, N. N., Thompson, C. B., (2017). Cancer cell metabolism: the essential role of the nonessential amino acid, glutamine. *EMBO Journal*, 36(10), 1302–1315. <https://doi.org/10.15252/embj.201696151>
11. Sulkowski, G., Dąbrowska-Bouta, B., Salińska, E., Struzyńska, L. (2014). Modulation of glutamate transport and receptor binding by glutamate receptor antagonists in EAE rat brain. *PLoS One*, 9(11) Article e113954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113954>

12. Lu, M.-J., Chiu, T.-C., Chang, P.-L., Ho, H.-T., Chang, H.-T. (2005). Determination of glycine, glutamine, glutamate, and γ -aminobutyric acid in cerebrospinal fluids by capillary electrophoresis with light-emitting diode-induced fluorescence detection. *Analytica Chimica Acta*, 538(1–2), 143–150. <http://doi.org/10.1016/j.aca.2005.02.041>
13. Sano, C. (2009). History of glutamate production. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90(3), 728S–732S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27462F>
14. Butnariu, M., Sarac, I. (2019). What is sodium glutamate and what effects it has on health. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 6(5), 223–226. <https://doi.org/10.15406/jabb.2019.06.00195>
15. Aramesh M., Ajoudanifar H. (2017). Alkaline protease producing *Bacillus* isolation and identification from Iran. *Banat's Journal of Biotechnology*, 8(16), 140–147. [https://doi.org/10.7904/2068-4738-viii\(16\)-140](https://doi.org/10.7904/2068-4738-viii(16)-140)
16. Sato, Y., Nakanishi, T., Takeda, M., Oishi, K., Hirooka, H., Kumagai, H. (2019). Effects of supplementary mother liquor, by-product of monosodium glutamate, on in vitro ruminal fermentation characteristics. *Animal Science Journal*, 90(1), 90–97. <https://doi.org/10.1111/asj.13132>
17. Obayashi, Y., Nagamura, Y. (2016). Does monosodium glutamate really cause headache? A systematic review of human studies. *Journal of Headache and Pain*, 17(1), Article 54. <https://doi.org/10.1186/s10194-016-0639-4>
18. Banerjee, A., Mukherjee, S., Maji, B. K. (2021). Worldwide flavor enhancer monosodium glutamate combined with high lipid diet provokes metabolic alterations and systemic anomalies: An overview. *Toxicology Reports*, 8, 938–961. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.04.009>
19. Zhao, Y., Li, J.-Y., Yin, L., Feng, L., Liu, Y., Jiang, W.-D. et al. (2019). Effects of dietary glutamate supplementation on flesh quality, antioxidant defense and gene expression related to lipid metabolism and myogenic regulation in Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture*, 502, 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.050>
20. Baad-Hansen, L., Cairns, B.E., Ernberg, M., Svensson, P. (2010). Effect of systemic monosodium glutamate (MSG) on headache and pericranial muscle sensitivity. *Cephalalgia*, 30(1), 68–76. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2982.2009.01881.x>
21. Niaz, K., Zaplatic, E., Spoor, J. (2018). Extensive use of monosodium glutamate: A threat to public health? *EXCL Journal*, 17, 273–278. <https://doi.org/10.17179/excli2018-1092>
22. Veni, N., Karthika, D., Surya Devi, M., Rubini M. F., Vishalini, M., Pradeepa, Y. J. (2010). Analysis of Monosodium L-Glutamate in Food Products by HighPerformance Thin Layer Chromatography. *Journal of Young Pharmacists*, 2(3), 297–300. <https://doi.org/10.4103/0975-1483.66795>
23. Soldatkina, O. V., Soldatkin, O. O., Kasap, B. O., Kucherenko, D. Y., Kucherenko, I. S., Kurc, B. A. et al. (2017). A novel amperometric glutamate biosensor based on glutamate oxidase adsorbed on silicalite. *Nanoscale Research Letters*, 12(1), Article 260. <https://doi.org/10.1186/s11671-017-2026-8>
24. Beltyukova, S. V., Malinka, E. V. (2016). Determination of sodium glutamate by thin, layer chromatography with luminescent detection. *Odesa National University Herald. Chemistry*, 21(1(57)), 50–58. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2016.1\(57\).67511](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2016.1(57).67511) (In Russian)
25. Rudenko, A. O., Kartsova, L. A., Snarskiy, S. I. (2010). High performance liquid chromatography determination of the major amino acids in complex biological objects using phenylisothiocyanate derivatization. *Sorption and Chromatographic Processes*, 10(2), 1–8. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Князева Александра Сергеевна — младший научный сотрудник, лаборатория «Научно-методических работ, биологических и аналитических исследований», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-79-61 E-mail: a.knyazeva@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0038-9744 * автор для контактов	Aleksandra S. Knyazeva, Junior Researcher, Laboratory “Scientific and Methodical Work, Biological and Analytical Research”, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina, 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-79-61 E-mail: a.knyazeva@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0038-9744 * corresponding author
Вострикова Наталья Леонидовна — доктор технических наук, руководитель Научно-исследовательского испытательного центра, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-60-11 E-mail: n.vostrikova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9395-705X	Natalia L. Vostrikova, Doctor of Technical Sciences, Head of the Research and Testing Center, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina, 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-60-11 ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9395-705X
Куликовский Андрей Владимирович — кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Научно-методических работ, биологических и аналитических исследований», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-60-11 E-mail: a.kulikovskii@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9140-5390	Andrey V. Kulikovskii, Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory «Scientific and Methodical Work, Biological and Analytical Research», V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina, 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-60-11 E-mail: a.kulikovskii@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9140-5390
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, г. Москва, ул. Талалихина, 26 +7-495-676-79-61 E-mail: d.utyantov@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. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina, 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-79-61 E-mail: d.utyantov@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/10.21323/2618-9771-2022-5-3-232-238>

Поступила 13.04.2022

Поступила после рецензирования 06.09.2022

Принята в печать 12.09.2022

© Орлова О. Н., Дмитриева Л. С., Ерошенко В. И., Кричун Л. В., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В МЫШЕЧНОЙ И ЖИРОВОЙ ТКАНИ МОЛОДНЯКА ОВЕЦ

Орлова О. Н.*, Дмитриева Л. С., Ерошенко В. И., Кричун Л. В.

Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова, Ростов-на-Дону, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

порода, генотип, молодняк овец, баранчики, баранина, мышечная ткань, внутренний жир, жирные кислоты, индекс атерогенности, индекс тромбогенности

АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты исследований содержания жирных кислот в липидах мышечной ткани баранчиков также исследования жирнокислотного состава внутреннего жира баранчиков, полученные от чистопородных (советский мерин) и помесных животных генотипов: советский мерин х джалгинский мерин и советский мерин х ставропольская. Баранчиков выращивали путем умеренного откорма. Для исследований был проведен контрольный убой животных в возрасте 8-ми месяцев. В результате изучения жирнокислотного состава образцов мышечной ткани и внутреннего жира исследуемых животных идентифицировано 13 и 11 соответственно жирных кислот. Липиды мышечной ткани показали повышенную долю насыщенных жирных кислот (53,93–56,34%) по отношению к общему составу жирных кислот. Во всех изучаемых группах внутренний жир баранчиков содержит большое количество насыщенных жирных кислот: от 64,46 (чистопородные) до 67,71% (помесные). Расчетные индексы атерогенности мышечной ткани (IA = 0,99–1,18) и жировой ткани (IA = 1,11–1,21) всех групп животных находились на невысоком уровне; индексы тромбогенности мышечной ткани (IT = 1,98–2,28) и жировой ткани (IT = 2,97–3,71) имели более высокое значение.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию FNEN-2019–0005 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 13.04.2022

Accepted in revised 06.09.2022

Accepted for publication 12.09.2022

© Orlova O. N., Dmitrieva L. S., Erochenko V. I., Krichun L. V., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

COMPOSITION OF FATTY ACIDS IN THE MUSCLE AND FAT TISSUE OF YOUNG SHEEP

Olga N. Orlova,* Ludmila S. Dmitrieva, Valentina I. Erochenko, Ludmila V. Krichun

North-Caucasian Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Rostov-on-Don, Russia

KEY WORDS:

breed, genotype, young sheep, young ram, mutton, muscle tissue, internal fat, fatty acids, atherogenicity index, thrombogenicity index

ABSTRACT

The article presents the results of studies of the content of fatty acids in the lipids of the muscle tissue of young rams, and the composition of fatty acid of the internal fat of young rams, obtained from purebred genotypes (Soviet merino) and crossbred sheep genotypes: Soviet merino x Dzhalginsky merino and Soviet merino x Stavropol variety. Sheep were raised by moderate fattening. For the purposes of research the control group of sheep was slaughtered at the age of 8 months. As a result of analyzing the composition of fatty acid in the samples of muscle tissue and internal fat of the considered animals, 13 and 11 fatty acids, respectively, were identified. The lipids of muscle tissue showed an increased share of saturated fatty acids (53.93–56.34%) in reference to the total composition of fatty acids. In all studied groups, the internal fat of young rams contained a large amount of saturated fatty acids: from 64.46 (purebred) to 67.71% (crossbred). The calculated atherogenicity indices of muscle tissue (IA = 0.99–1.18) and fat tissue (IA = 1.11–1.21) in all groups of animals were at a low level; thrombogenicity indices of muscle tissue (IT = 1.98–2.28) and fat tissue (IT = 2.97–3.71) proved to be higher.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-2019–0005 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

В последние годы интерес к качественному и количественному составу жиров в диете человека значительно возрос. Это связано с тем, что причиной многих заболеваний, согласно медицинским исследованиям, является либо нарушение липидного обмена, либо дисбаланс отдельных полиненасыщенных жирных кислот.

Жирные кислоты представляют собой углеводородные цепи различной длины, заканчивающиеся, с одной стороны, метильной группой, а другой — карбоксильной группой.

В зависимости от количества двойных связей, углеводородная цепь жирных кислот может быть насыщенной, мономоненасыщенной и полиненасыщенной [1].

Насыщенные (НЖК) и мономоненасыщенные жирные кислоты (МНЖК) синтезируются в организме животных из углеводов и белков, при этом избыток энергии конвертируется в жирные кислоты. Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) семейства омега-6 и омега-3 синтезируются только в растениях. Животные, в том числе и человек, должны получать их с пищей. Данные кислоты относятся

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Орлова, О. Н., Дмитриева, Л. С., Ерошенко, В. И., Кричун, Л. В. (2022). Состав жирных кислот в мышечной и жировой ткани молодняка овец. *Пищевые системы*, 5(3), 232–238. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-232-238>

FOR CITATION: Orlova, O. N., Dmitrieva, L. S., Erochenko, V. I., Krichun, L. V. (2022). Состав жирных кислот в мышечной и жировой ткани молодняка овец. *Food Systems*, 5(3), 232–238. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-232-238>

к категории эссенциальных (незаменимых) факторов питания.

Полиненасыщенные жирные кислоты играют главную роль в структурно-функциональной организации клеточных мембран, в обеспечении белок-липидного взаимодействия, а также служат предшественниками в биосинтезе значительной группы медиаторов — эйкозаноидов.

Считается, что причиной многих заболеваний является нарушение поступления в организм и метаболизма полиненасыщенных жирных кислот (атеросклероз, сердечно-сосудистые заболевания, в том числе ишемическая болезнь сердца, сахарный диабет, аутоиммунные заболевания, разные иммунодефициты, кожные и нервные болезни и др.) Для лечения и профилактики этих болезней широко используются специфические диеты с повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК n-3). Регламентированное присутствие в рационе человека ПНЖК является одним из условий здорового питания и эффективной профилактики многих заболеваний.

Мясо — один из главных источников жира в питании человека. Жир влияет на энергетическую ценность и вкусовые достоинства мяса, придавая ему нежность и сочность. При определении пищевой ценности мяса важным показателем является его жирнокислотный состав, поэтому интерес ученых к изучению жирнокислотного состава мясных продуктов является обоснованным. Жировая ткань и отдельные жирные кислоты животного различаются в зависимости от множества факторов, среди которых выделяются генотип, возраст животного, пол, питание, условия содержания и др. [2,3].

Известно, что мясо жвачных животных содержит липиды, в которых насыщенные жирные кислоты преобладают над ненасыщенными. Это связано с тем, что жирнокислотный состав мяса в значительной степени определяется деятельностью рубцовой микрофлоры. У жвачных животных ПНЖК подвергаются в рубце биологической гидрогенизации с образованием НЖК и МНЖК.

В полной мере это относится и к мясу овец — баранине, которая является ценным компонентом питания человека, источником животного белка. По сбалансированности жирных кислот и аминокислот, по содержанию витаминов и минеральных веществ она не уступает говядине, а по калорийности даже превосходит ее.

Баранина отличается высокими вкусовыми показателями, хорошей усвояемостью и диетическими свойствами. При этом лучшим считается мясо молодняка овец 6–8 месячного возраста. В первые 8 месяцев жизни идет наиболее интенсивное отложение животного белка. В более старшем возрасте увеличение массы туши овец превосходит преимущественно за счет отложения жира [4–10].

Мясная продуктивность овец тесно связана с генетически обусловленной наследственностью, запрограммированной на определенный потенциал породы или типа овец, а также с уровнем их кормления, системой содержания и ухода.

Молодая ягнятина обладает наилучшими диетическими качествами и отличается нежностью мышечной ткани и оптимальным содержанием жира и белка [11–17].

Однако некоторые авторы считают, что по сравнению с ягнятиной мясо взрослых животных обладает более благоприятным соотношением ПНЖК n-6/n-3. По результатам исследований и рекомендаций диетологов предложено стимулировать производство мяса взрослых животных с целью включения в рацион питания.

В последние годы предпринимаются попытки оптимизации жирнокислотного состава баранины с целью обеспе-

чения оптимального соотношения белков, углеводов, жиров, воды, минеральных веществ и витаминов, необходимых для здорового питания. Биологическая ценность, в том числе жирнокислотный состав мяса, полученного от животных, выращенных в разных условиях содержания и при разных рационах кормления, может иметь различия [18–21].

Зарубежные ученые, сравнивая жирнокислотный состав баранины, пришли к выводу о том, что пастбищное содержание — способ обогащения баранины полиненасыщенными жирными кислотами n-3. Было доказано, что мясо пастбищных ягнят содержит меньше НЖК, более высокие уровни ПНЖК n-3 и более благоприятное соотношение ПНЖК n-6/n-3, чем у ягнят, откормленных зерновыми рационами.

Генотип и пол ягнят могут влиять на состав жирных кислот в мясе. Считается, что самки ягнят имеют гораздо более высокие уровни МНЖК, в то время как у ягнят-самцов значительно большее отношение ПНЖК n-6/n-3. Некоторые ученые считают возможным предположить, что существует ограниченный потенциал для изменения синтеза и отложения длинноцепочечных ПНЖК у жвачных животных с помощью специальных селекционных программ [22–27].

Известно, что окислительные процессы, развивающиеся в жирах, отрицательно влияют на вкус, ароматические свойства мяса и мясопродуктов. При этом процесс окисления всегда начинается с ненасыщенных жирных кислот, а интенсивность окисления растет с увеличением степени ненасыщенности. Поэтому существует опасность интенсификации процессов окисления и ухудшения вкуса баранины в связи с оптимизацией жирнокислотного состава. Стремление к увеличению в баранине содержания полиненасыщенных жирных кислот может сопровождаться ухудшением вкуса и сокращением продолжительности его хранения без потери качества.

За последние годы существенно вырос экономический вес баранины по сравнению с шерстью. В большинстве стран мира выручка от производства баранины составляет более 90%, а от реализации шерсти — менее 10%. Поэтому большое внимание уделяется развитию скороспелого мясного и мясо-шерстного овцеводства. При этом с каждым годом в мясном балансе отрасли повышается удельный вес ягнатины, поскольку спрос населения на нее более высокий, чем на баранину овец более старших возрастов.

Многие отечественные и зарубежные ученые считают, что вопросом первостепенной важности становится увеличение производства мяса, экономическая значимость которого резко возросла, и по прогнозам будет увеличиваться. Доказано, что производить высококачественную баранину возможно с использованием любой породы вне зависимости от направления продуктивности животного.

В Южном федеральном округе и в некоторых регионах страны сложились предпосылки для развития овцеводства, что в сочетании с социальной значимостью этой отрасли будет способствовать ее устойчивому развитию. В этих регионах наблюдается дефицит высококачественной баранины, о чем свидетельствуют высокие цены на этот вид мяса, не уступающие ценам на говядину [28–34].

Поэтому разработка мясоперерабатывающей промышленности научно-обоснованных требований к промышленно пригодным овцам и баранине направлена на повышение мясной продуктивности животных и качества получаемого мяса, на увеличение рентабельности овцеводческих хозяйств и мясоперерабатывающих предприятий, а также на обеспечение населения высококачественными продуктами из баранины, что в настоящее время весьма актуально.

2. Объекты и методы

Исследования проводились на молодняке овец. Было сформировано три группы баранчиков: в I группу (контроль) вошли подопытные животные породы советский меринос (СМ), во II и III группы (опыт) — помесные генотипы: советский меринос х джалгинский меринос (СМхДжМ) и советский меринос х ставропольская (СМхСТ).

Баранчиков всех групп дорацивали и откармливали до 8-ми месячного возраста путем умеренного откорма на КФХ Смородин В. И. Целинского района Ростовской области. В рационе содержались смесь зеленой массы люцерны с сеном или зеленая масса кукурузы. Кроме того, в рацион вводили 300–500 г концентратов.

Для исследований был проведен контрольный убой пяти баранчиков из каждой группы на ООО «Мясокомбинат» (с. Развильное Песчанокского района Ростовской области).

Через 24 ч после убоя из туш, находившихся в камере охлаждения при температуре 0–4 °С и влажности 90%, выделяли образцы средних проб мяса (400 г) и внутреннего жира для исследований.

Исследования жирнокислотного состава образцов мяса и жира проводили в лабораторных условиях ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (г. Москва) и его Северо-Кавказского филиала (г. Ростов-на-Дону).

Выделение липидов из образцов осуществляли экстракцией хлороформ/метанолом по методу Фолча. Выявление состава жирных кислот проводили на газовом хроматографе HP6890 фирмы Hewlett Packard.

Количественное содержание насыщенных жирных кислот (НЖК), мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК), полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в мышечной и жировой ткани определяли по ГОСТ Р 55483¹.

Атерогенные (IA) и тромбогенные (IT) индексы рассчитывались согласно следующим уравнениям:

$$IA = aS' + bS'' + cS'''/dP + eM + fM' \quad (1),$$

где $S' = C12:0$,

$S'' = C14:0$,

$S''' = C16:0$,

P = сумма ПНЖК $n-6$ и $n-3$,

M = олеиновая кислота ($C18:1$),

M' = сумма других МНЖК,

$a-f$ — эмпирические константы,

$b = 4$ остальные — приняты за единицу.

$$IT = mS''''/nM + oM' + p(n-6) + g(n-3) + (n-3)/(n-6) \quad (2),$$

где S'''' = сумма $C14:0$; $C16:0$; $C18:0$,

$n-6 = n-6$ ПНЖК,

$n-3 = n-3$ ПНЖК,

M = олеиновая кислота ($C18:1$),

M' = сумма других МНЖК,

m, n, o, p, g — эмпирические (неизвестные) константы,

m — устанавливается как единица,

n, o и $p = 0,5$,

g — принято как 3 [35].

Статистическую обработку результатов исследований проводили общепринятыми методами вариационной статистики с использованием программы Excel.

3. Результаты и обсуждение

В результате изучения жирнокислотного состава образцов мышечной ткани подопытных животных идентифицировано 13 жирных кислот:

- насыщенные (лауриновая $C_{12:0}$, миристиновая $C_{14:0}$, пентадекановая $C_{15:0}$, пальмитиновая $C_{16:0}$, стеариновая $C_{18:0}$ и арахидовая $C_{20:0}$);

- мононенасыщенные (миристолеиновая $C_{14:1}$, пальмитолеиновая $C_{16:1}$, олеиновая $C_{18:1}$ и элаидиновая $C_{18:1}$);
- полиненасыщенные (линолевая $C_{18:2}$, линоленовая $C_{18:3}$ и арахидоновая $C_{20:4}$) (Таблица 1).

Таблица 1. Содержание жирных кислот в липидах мышечной ткани баранчиков в 8-месячном возрасте, %

Table 1. The content of fatty acids in the lipids of the muscle tissue of young rams at the age of 8 months, %

№ п/п	Название и код кислот	Порода	Генотип	
		СМ	СМхДжМ	СМхСТ
		Группа		
		I (контроль)	II (опыт)	III (опыт)
1	Лауриновая C _{12:0}	–	0,21 ± 0,06	0,21 ± 0,06
2	Миристиновая C _{14:0}	5,14 ± 0,61	4,84 ± 1,21	6,13 ± 0,74
3	Миристолеиновая C _{14:1}	–	–	0,07 ± 0,02
4	Пентадекановая C _{15:0}	1,14 ± 0,29	0,58 ± 0,15	0,98 ± 0,25
5	Пальмитиновая C _{16:0}	26,40 ± 3,17	25,41 ± 3,05	26,61 ± 3,19
6	Пальмитолеиновая C _{16:1}	1,69 ± 0,42	1,92 ± 0,48	1,86 ± 0,47
7	Стеариновая C _{18:0}	21,25 ± 2,55	23,57 ± 2,83	22,41 ± 2,69
8	Олеиновая C _{18:1} cis	37,25 ± 4,47	37,28 ± 4,47	35,18 ± 4,22
9	Элаидиновая C _{18:1} trans	1,67 ± 0,42	2,52 ± 0,63	3,07 ± 0,77
10	Линолевая C _{18:2} o6	4,13 ± 1,03	2,90 ± 0,73	2,50 ± 0,63
11	Линоленовая C _{18:3} o3	1,33 ± 0,25	0,67 ± 0,17	0,83 ± 0,21
12	Арахиновая C _{20:0}	–	0,10 ± 0,03	–
13	Арахидоновая C _{20:4} o6	–	–	0,15 ± 0,05
ВСЕГО		100	100	100
Насыщенных		53,93 ± 6,47	54,71 ± 6,57	56,34 ± 6,76
Мононенасыщенных		40,61 ± 4,87	41,72 ± 5,01	40,18 ± 4,82
Полиненасыщенных		5,46 ± 1,36	3,57 ± 0,89	3,48 ± 0,87

Оценивая жирнокислотный состав липидов мышечной ткани, следует отметить, что общее содержание жирных кислот у животных генотипов СМхДжМ и СМхСТ оказался более разнообразным, чем у чистопородных баранчиков.

Присутствие лауриновой кислоты $C12:0$ в мышечной ткани отмечено только у опытных баранчиков (0,21%).

Концентрация миристиновой кислоты $C14:0$ в мышечной ткани наиболее высокая, эта кислота содержалась в мясе опытных животных генотипа СМхСТ (6,13%), а концентрация пентадекановой $C15:0$ — самая низкая — генотипа СМхДжМ (0,58%).

Независимо от породной принадлежности и кровности баранчиков, доминирующими по содержанию были такие жирные кислоты, как пальмитиновая $C16:0$, стеариновая $C18:0$ и олеиновая $C18:1$. Уровень олеиновой кислоты $C18:1$ по сравнению с другими кислотами был наивысшим и находился в пределах от 35,18 до 37,28%.

Сравнительно равномерным было распределение в мышечной ткани такой жирной кислоты, как пальмитолеиновая $C16:1$ –1,69–1,92%, а относительно низким оказался уровень лауриновой $C12:0$ –0,21% (генотипы), миристолеиновой $C14:1$ –0,07% (генотип СМхСТ), арахидоновой $C20:0$ –0,10% (генотип СМхДжМ), арахидоновой $C20:4$ –0,15% (генотип СМхСТ).

Относительно концентрации линолевой кислоты $C18:2$ следует отметить, что у опытных животных ее уровень ниже (2,5–2,9%), чем у контрольных (4,13%).

В последние годы серьезной проблемой становится содержание цис- и транс-изомеров жирных кислот в продуктах ежедневного спроса и потребления. Большинство входящих в состав жиров природных жирных кислот являются цис-изомерами. Поскольку потребление трансжирных кислот

¹ ГОСТ Р 55483–2013. Мясо и мясные продукты. Определение жирнокислотного состава методом газовой хроматографии. Москва: Стандартинформ. — 16 с.

в первую очередь связано с увеличением риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, изучению именно этого вопроса уделяется наибольшее внимание.

Фактически люди потребляли трансжирные кислоты всегда, поскольку эти соединения являются естественными составляющими в продуктах питания (говядине, баранине, сливочном масле и др.). В природе гораздо чаще встречается цис-форма, однако транс-форма также присутствует небольшим количестве (обычно до 5% от суммы жиров в мясе жвачных животных). В наших исследованиях содержание основного трансизомера — элаидиновой кислоты C18:1-trans — составляет 1,67–3,07%. Но, как подтверждено литературными источниками, данная кислота не оказывает большого влияния на развитие сердечно-сосудистых заболеваний [34].

Процентная доля каждой жирной кислоты в липидах мышечной ткани баранчиков чистопородных и разных генотипов отразилась на общем количестве насыщенных, ненасыщенных (моно-, полиненасыщенных) кислот.

Результаты исследований показали повышенную долю насыщенных жирных кислот (53,93–56,34%). В составе НЖК в мышечной ткани баранчиков преобладают пальмитиновая C16:0, стеариновая C18:0 и миристиновая C14:0 жирные кислоты.

Изучение соотношений насыщенных и ненасыщенных кислот показало, что баланс жирных кислот у помесных животных незначительно увеличивается в сторону НЖК — 54,71:45,29 (генотип СМхДжМ) и 56,34:43,66: (генотип СМхСТ) по сравнению с чистопородными — 53,97:46,07 (СМ).

Высокий насыщенный состав жирных кислот в липидах мышечной ткани баранчиков новых генотипов по сравнению с чистопородными связан с повышенным процентным содержанием стеариновой C18:0–23,57% (генотип СМхДжМ) и 22,41% (генотип СМхСТ), миристиновой C14:0–6,16% (генотип СМхСТ).

Мононенасыщенные жирные кислоты состоят преимущественно из олеиновой кислоты C18:1.

Меньшее процентное содержание ненасыщенных жирных кислот у помесных баранчиков — 45,29% (генотип СМхДжМ) и 43,66 (генотип СМхСТ) по сравнению с СМ — можно объяснить более низким содержанием олеиновой кислоты C18:1–35,18% (СМхСТ), линолевой C18:2–2,90 и 2,50% (генотип СМхДжМ и СМхСТ).

Линолевая C18:2 и линоленовая C18:3 кислоты являются незаменимыми ω-6 и ω-3. Арахидоновая кислота C20:4 (называемая частично незаменимая) тоже относится к семейству ω-6. Внимание к полиненасыщенным жирным кислотам возросло после установления их влияния на состояние кожного покрова, а также роли в холестероловом обмене и в профилактике атеросклероза.

Бараний жир — это природный продукт, который получают из жировых тканей животных. Из всех животных жиров бараний жир выделяется по количеству насыщенных жирных кислот, которые придают этому продукту твердую консистенцию.

Данные о жирнокислотном составе внутреннего жира баранчиков различной кровности приведены в Таблице 2.

В образцах внутреннего жира баранчиков было идентифицировано 11 жирных кислот с разным уровнем концентрации.

Во всех изучаемых группах жир баранчиков содержит большое количество насыщенных жирных кислот — от 64,46 (СМ) до 67,71% (генотип СМхДжМ), среди которых выделяется стеариновая кислота C18:0.

Концентрация миристиновой кислоты C14:0 в жире баранчиков всех групп отличалась незначительно и варьировала от 3,36 (СМ) до 3,94 (генотип СМхДжМ).

Таблица 2. Жирнокислотный состав внутреннего жира баранчиков, %

Table 2. Fatty acid composition of internal fat of the young rams, %

№ п/п	Наименование и код кислот	Порода	Генотип	
		СМ	СМх-ДжМ	СМхСТ
		Группа		
		I(контроль)	II(опыт)	I(контроль)
1	Лауриновая C _{12:0}	–	–	0,16±0,05
2	Миристиновая C _{14:0}	3,36±0,84	3,94±0,99	3,58±0,90
3	Пентадекановая C _{15:0}	1,82±0,47	0,78±0,20	0,72±0,18
4	Пальмитиновая C _{16:0}	26,03±3,12	23,30±2,80	23,82±2,86
5	Пальмитолеиновая C _{16:1}	1,22±0,31	0,88±0,22	0,83±0,21
6	Стеариновая C _{18:0}	32,47±3,90	39,17±4,71	37,96±4,56
7	Олеиновая C _{18:1} cis	28,98±3,48	25,88±3,11	27,15±3,26
8	Элаидиновая C _{18:1} trans	1,31±0,33	2,95±0,74	2,71±0,68
9	Линолевая C _{18:2} ω6	2,94±0,74	1,83±0,46	2,06±0,52
10	Линоленовая C _{18:3} ω3	1,09±0,27	0,75±0,19	0,58±0,15
11	Арахидоновая C _{20:0}	0,78±0,20	0,52±0,13	0,43±0,13
ВСЕГО		100	100	100
Насыщенных		64,46±7,73	67,71±8,13	66,67±8,00
Мононенасыщенных		31,51±4,26	29,71±3,57	30,69±3,68
Полиненасыщенных		4,03±1,01	2,58±0,65	2,64±0,66

Содержание пентадекановой кислоты C15:0 в мясе помесных животных (0,72–0,78%) значительно ниже, чем в мясе чистопородных (1,82%).

Высокое содержание НЖК в бараньем жире обуславливает высокую температуру плавления и устойчивость к окислению.

Среди ненасыщенных жирных кислот самое высокое содержание олеиновой кислоты C18:1 — от 25,88 (генотип СМхДжМ) до 28,98% (СМ).

Содержание элаидиновой C18:1-trans кислоты в жире баранчиков различных генотипов (2,71–2,95%) выше, чем в жире чистопородных — 1,31%.

Количество полиненасыщенных жирных кислот в жире помесных животных ниже на 1,45% (генотип СМхДжМ) и 1,39% (генотип СМхСТ), чем в жире чистопородных (СМ).

Соотношения насыщенных и ненасыщенных кислот в жире баранчиков свидетельствуют о том, что баланс жирных кислот помесных животных незначительно увеличивается в сторону насыщенных жирных кислот — 67,71:32,29 (генотип СМхДжМ) и 66,67:33,33 (генотип СМхСТ), по сравнению с чистопородными — 64,46:34,54 (СМ).

К показателям, характеризующим жирнокислотный состав потребляемой пищи, могут быть отнесены индексы атерогенности и тромбогенности.

Индекс атерогенности (ИА) — показатель, указывающий на соотношение между суммой насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. Данный индекс рассчитывается из соотношения насыщенных и ненасыщенных жирных кислот.

Индекс тромбогенности (ИТ) — показатель, характеризующий тенденцию к тромбообразованию в кровеносных сосудах, который определяется соотношением протромбогенных (насыщенные жирные кислоты) и антитромбогенных (моно и полиненасыщенные жирные кислоты) соединений.

Избыточное потребление насыщенных жиров и продуктов, имеющих высокие индекс атерогенности и тромбогенности, существенно повышает риск развития атеросклероза и, как следствие, инфаркта и инсульта, а также ишемической болезни сердца.

В Таблице 3 представлена сравнительная оценка индексов атерогенности и тромбогенности мышечной ткани и внутреннего жира баранчиков.

Таблица 3. Сравнительная оценка индексов атерогенности и тромбогенности мышечной и жировой ткани баранчиков

Table 3. Comparative evaluation of atherogenicity indices and thrombogenicity indices of muscle and fat tissue in the young rams

Наименование продукта	Индекс атерогенности	Индекс тромбогенности
СМ (контроль)		
мышечная ткань	1,02	1,98
жировая ткань	1,11	2,97
Генотип СМхДжМ (опыт 1)		
мышечная ткань	0,99	2,28
жировая ткань	1,21	3,60
Генотип СМхСТ (опыт 2)		
мышечная ткань	1,18	2,19
жировая ткань	1,15	3,71
Справочные данные [35]		
Баранина		
мышечная ткань	0,97	1,46
жировая ткань	0,82	1,91
Говядина		
мышечная ткань	0,79	1,35
жировая ткань	0,79	1,50
Свинина		
мышечная ткань	0,52	1,02
жировая ткань	0,49	1,19

Из Таблицы 3 видно, что, согласно справочным данным, баранина имеет наибольший атерогенный и тромбогенный индекс по сравнению со свиной и говяжьей.

Расчетный индекс атерогенности опытной и контрольной баранины ($IA = 0,99 - 1,18$) и жировой ткани ($IA = 1,11 - 1,21$) находился на невысоком уровне. При этом индекс тромбогенности этой же баранины ($IT = 1,98 - 2,28$) и жировой ткани ($IT = 2,97 - 3,71$) имел высокое значение.

Сравнение индексов атерогенности и тромбогенности мяса и жировой ткани в каждом опыте и контроле показало, что:

- индекс атерогенности баранины по сравнению с индексом атерогенности внутреннего жира меньше на 0,22 (опыт 1), больше на 0,03 (опыт 2), меньше на 0,09 (контроль);
- индекс тромбогенности баранины по сравнению с индексом тромбогенности;

- внутреннего жира в опытах 1 и 2 и контроле меньше на 1,41; 1,43 и 0,99 соответственно.

Данные по тромбогенности свидетельствуют о том, что употребление в пищу внутреннего жира увеличивает риск развития тромбоза по сравнению с бараниной.

Изучение атерогенности и тромбогенности мяса повышает объективность оценки качества мясного сырья и продуктов, позволяет целенаправленно осуществлять поиск путей использования мясного сырья, а также с большей достоверностью формировать рацион питания целевых групп населения, имеющих предрасположенность к артериям, тромбозам, инсультам, ишемической болезни сердца, и более точно формулировать требования мясной промышленности к животноводству.

4. Выводы

Таким образом, исследованные образцы мышечной ткани и внутреннего жира, полученные от чистопородных баранчиков и помесных (новых генотипов), которые были выращены в одинаковых условиях содержания и откорма, имеют сходные качественные и количественные характеристики. По содержанию жирных кислот баранина, полученная от чистопородных животных (советский меринос) и генотипов (советский меринос х джалгинский меринос и советский меринос х ставропольская), имеет высокую биологическую ценность.

Накопление ненасыщенных жирных кислот во всех образцах в мышечной ткани происходит более интенсивно (46,07–43,66%), чем во внутреннем жире (35,54–33,33%).

Молодая баранина характеризуется высокой насыщенностью внутримышечного жира омега-3 жирными кислотами. Употребление молодой баранины будет оказывать благотворное влияние на организм, снижая риск развития сердечно-сосудистых заболеваний.

Мясо баранчиков новых генотипов характеризуется более высокими значениями индекса тромбогенности по сравнению со справочными данными. Учитывая незначительный среднегодовой объем потребления человеком баранины, можно сделать вывод, что молодая баранина новых генотипов в рационе не оказывает существенного влияния на увеличение риска развития коронарных заболеваний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Kaić, A., Mioč, B. (2016). Fat tissue and fatty acid composition in lamb meat. *Journal of Central European Agriculture*, 17(3), 856–873. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/17.3.1783>
- Сазонова, И. А. (2016). Биологическая ценность мяса баранчиков эдильбаевской породы, выращиваемых в условиях двух природно-климатических зон Поволжья. *Проблемы биологии продуктивных животных*, 1, 76–83.
- Дмитрик, И. И., Овчинникова, Е. Г. (2018). Пищевая оценка мяса молодняка овец ставропольской породы. *Сельскохозяйственный журнал*, 1(11), 56–61. <https://doi.org/10.25930/0372-3054-2018-1-11-65-71>
- Сазонова, И. А. (2015). Пищевая ценность мяса баранчиков волгоградской породы, выращенных в условиях Поволжья. *Овцы, козы, шерстное дело*, 3, 7–9.
- Сазонова, И. А. (2015). Мясная продуктивность и экологическая безопасность мяса баранчиков цыгайской породы в зависимости от природно-климатической зоны Саратовской области. *Овцы, козы, шерстное дело*, 3, 18–20.
- Junkuszew, A., Nazar, P., Milerski, M., Margetin, M., Brodzki, P., Baze-wicz, K. (2020). Chemical composition and fatty acid content in lamb and adult sheep meat. *Archives Animal Breeding*, 63(2), 261–268. <https://doi.org/10.5194/aab-63-261-2020>
- Колосов, Ю. А., Дегтярь, Е. А., Ганзенко, А. С. (2015). Влияние генотипа баранчиков на качественные характеристики мяса. *Овцы, козы, шерстное дело*, 4, 7–8.
- Косилов, В. И., Шкилев, П. Н., Никонова, Е. А., Андреев, Д. А., Газе-ев, И. Р. (2011). Особенности формирования убойных качеств молод-няка овец разного направления продуктивности. *Овцы, козы, шерст-ное дело*, 1, 19–21.
- Лушников, В. П., Фомин, А. В., Сарбаев, М. Г. (2016). Мясная продук-тивность баранчиков различных генотипов. *Овцы, козы, шерстяное дело*, 4, 19–20.
- Öner, Y., Üstüner, H., Orman, A., Yilmaz, O., Yilmaz, A. (2014). Genetic Diversity of Kivircik Sheep Breed reared in different regions and their relationship to other sheep breeds in Turkey. *Italian Journal of Animal Science* 13(3), 588–593. <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3382>
- Аюонеев, В. В., Горковенко, Л. Г., Куликова, А. Я., Цапкина Н. И. (2016). Мясная продуктивность молодняка овец различного происхожде-ния. *Зоотехния*, 4, 16–17.
- Карабаева, М. Э., Колотова Н. А. (2015). Мясная продуктивность и ка-чество мяса молодняка овец разных генотипов. *Овцы, козы, шерст-ное дело*, 4, 23–26.
- Сердюков, И. Г., Абонеев, В. В., Павлов, М. Б., Павлов, А. М., Марченко, В. В. (2017). Мясная продуктивность баранчиков породы джалгин-ский меринос с различной тониной шерсти. *Овцы, козы, шерстяное дело*, 1, 34–36.
- Хашируев, Т. Н., Волков, И. В. (2015). Мясная продуктивность овец хангильского типа забайкальской тонкорунной породы. *Вестник АПК Ставрополя*, 2(18), 162–165.
- Бямба, Д., Билтуев, С. И. (2017) Интенсивность роста молодняка овец породы халха и полукровных халха-суффолк помесей при их нагуле и откорме. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйствен-ной академии им. В. Р. Филиппова*, 3(48), 19–25.
- Колосов, Ю. А., Дегтярь, А. С., Семенов, С. В. (2014) Качественные характеристики мяса помесных баранчиков. *Вестник Донского госу-дарственного аграрного университета*, 1(11), 11–15.
- Belhaj, K., Mansouri, F., Moumen, A. B., Fauconnier, M. -L., Boukharta, M., Caid, H. S. et al. (2018). Physicochemical and nutritional charac-

- teristics of Béni Guil lamb meat raised in eastern Morocco. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 11(2), 175–185. <https://doi.org/10.3233/MNM-17195>
18. Junkuszew, A., Nazar, P., Milerski, M., Margetin, M., Brodzki, P., Baze-wicz, K. (2020). Chemical composition and fatty acid content in lamb and adult sheep meat. *Archives Animal Breeding*, 63(2), 261–268. <https://doi.org/10.5194/aab-63-261-2020>
 19. Каширина, Н. А. Шаталова, Е. М. (17–18 мая 2016). *Химический состав и биологическая ценность мяса баранчиков различной породной принадлежности*. Сборник статей IV международной научно-практической конференции. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра Первого, 2016.
 20. Gonzales-Barron, U., Popova, T., Bermúdez Piedra, R., Tolsdorf, A., Geß, A., Pires, J. et al. (2021). Fatty acid composition of lamb meat from Italian and German local breeds. *Small Ruminant Research*, 200, Article 106384. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106384>
 21. Costa, J. B., Oliveira, R. L., Silva, T. M., Barbosa, A., Borja, M. S., de Pellegrini, C. B. et al. (2018). Fatty acid, physicochemical composition and sensory attributes of meat from lambs fed diets containing licuri cake. *PLoS ONE*, 13(11), Article e0206863. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206863>
 22. Cividini, A., Levart, A., Žgur, S., Kompan, D. (2014). Fatty acid composition of lamb meat from the autochthonous Jezersko-Solčava breed reared in different production systems. *Meat Science*, 97(4), 480–485. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.12.012>
 23. Boughalmi, A., Araba, A. (2016). Effect of feeding management from grass to concentrate feed on growth, carcass characteristics, meat quality and fatty acid profile of Timahdite lamb breed. *Small Ruminant Research*, 144, 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.09.013>
 24. Budimir, K., Mozzon, M., Toderi, M., D'ottavio, P., Trombetta, M. F. (2020). Effect of breed on fatty acid composition of meat and subcutaneous adipose tissue of light lambs. *Animals*, 10(3), Article 535. <https://doi.org/10.3390/ani10030535>
 25. Hopkins, D. (2015). Sheep Quality. Effect of breed, genetic type, gender and age on meat quality. Chapter in a book: Meat quality: genetic and environmental factors. New York: CRC Press, 2015. <https://doi.org/10.1201/b19250>
 26. Blasco, M., Campo, M.M., Balado, J., Sanudo, C. (2019). Effect of Texel crossbreeding on productive traits, carcass and meat quality of Segureña lambs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3335–3342. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9549>
 27. Yarali, E., Yilmaz, O., Cemal, I., Karaca, O., Taşkın T. (2014). Meat quality characteristics in Kivircik lambs. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 38(4), 452–458. <https://doi.org/10.3906/vet-1309-79>
 28. Колосов, Ю. А., Немашкалов, Г. П., Штрыков, А. Н. (2017). Ростовская область: состояние базы племенного овцеводства. *Овцы, козы, шерстяное дело*, 4, 14–16.
 29. Селионова, М. И., Бобрышова, Г. Т., Гаджиев, З. К., Измалков, С. А. (2017). Экономика овцеводства: плюсы и минусы. *Овцы, козы, шерстяное дело*, 1, 5–9.
 30. Bagirov, V. A., Iolchiev B. S., Klenovitsky, P. M., Zinoveva, N. A. (2015). Production of viable interspecies hybrids of domestic and wild sheep using cryopreserved Epididymal SPERT. *Reproduction in Domestic Animals*, 50(3), 44.
 31. Latawiec, A. E., Strassburg, B. B. N., Valentim, J. F., Ramos, F., Alves-Pinto, H. N. (2014). Intensification of cattle ranching production systems: socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil. *Animal*, 8(8), 1255–1263. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001566>
 32. Giro, T. M., Molchanov, A. V., Kozin, A. N., Giro, A. V., Fat'yanov, E. V., Svetlov, V. V. (2021). Use of iodine and selenium enriched fodder rations for production of fortified young lamb. *Theory and Practice of Meat Processing*, 6(1), 46–55. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2021-6-1-46-55>
 33. Орлова, О. Н., Мкртчян, В. С., Скряпник, Л. В., Кривун, Л. В. (2021). Research of the overall chemical and amino acid composition of meat from young animals of new sheep genotypes. *Theory and Practice of Meat Processing*, 6(3), 248–254. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2021-6-3-248-254>
 34. Aboneev, V. V., Aboneev, D. V., Tarchokov, T. T., Sukhanova, S. F., Aboneev, E. V., Marchenko, V.V. (2019). *Improving the competitiveness of fine-wool sheep using local and world stud rams*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Conference on Innovations in Agricultural and Rural Development. Article 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012045>
 35. Лисицын А. Б., Чернуха И. М., Кузнецова Т. Г., Орлова О. Н., Мкртчян В. С. (2011). Химический состав мяса: справочные таблицы общего химического, аминокислотного, жирнокислотного, витаминного, макро- и микроэлементного составов и пищевой (энергетической и биологической) ценности мяса. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В. М. Горбатова, 2011.
 14. Khamiruev, T. N., Volkov, I. V. (2015). Meat productivity of Hangil sheep of the Trans-Baikal fine-wool breed *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*, 2(18), 162–165. (In Russian)
 15. Byamba, D., Biltuev, S. (2017). Intensity of growth of young Khalkha sheep and Khalkha-Suffolk crossbreeds in their grass fattening. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*, 3(48), 19–25. (In Russian)
 16. Kolosov Yu. A., Degtyar A. S., Semenchenko S. V. (2014). Qualitative characteristics of meat crossbred lambs. *Bulletin of the Don State Agrarian University*, 1(11), 11–15. (In Russian)
 17. Belhaj, K., Mansouri, F., Moumen, A. B., Fauconnier, M. -L., Boukharta, M., Caid, H. S. et al. (2018). Physicochemical and nutritional characteristics of Béni Guil lamb meat raised in eastern Morocco. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 11(2), 175–185. <https://doi.org/10.3233/MNM-17195>
 18. Junkuszew, A., Nazar, P., Milerski, M., Margetin, M., Brodzki, P., Baze-wicz, K. (2020). Chemical composition and fatty acid content in lamb and adult sheep meat. *Archives Animal Breeding*, 63(2), 261–268. <https://doi.org/10.5194/aab-63-261-2020>
 19. Kashirina, N. A., Shatalova, E. M. (May 17–18, 2016). *The chemical analysis and biological value of buck lambs of various breed affiliation*. Processing of the IV International Scientific and Practical Conference. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2016. (In Russian)
 20. Gonzales-Barron, U., Popova, T., Bermúdez Piedra, R., Tolsdorf, A., Geß, A., Pires, J. et al. (2021). Fatty acid composition of lamb meat from Italian and German local breeds. *Small Ruminant Research*, 200, Article 106384. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106384>
 21. Costa, J. B., Oliveira, R. L., Silva, T. M., Barbosa, A., Borja, M. S., de Pellegrini, C. B. et al. (2018). Fatty acid, physicochemical composition and sensory attributes of meat from lambs fed diets containing licuri cake. *PLoS ONE*, 13(11), Article e0206863. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206863>
 22. Cividini, A., Levart, A., Žgur, S., Kompan, D. (2014). Fatty acid composition of lamb meat from the autochthonous Jezersko-Solčava breed reared in different production systems. *Meat Science*, 97(4), 480–485. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.12.012>
 23. Boughalmi, A., Araba, A. (2016). Effect of feeding management from grass to concentrate feed on growth, carcass characteristics, meat quality and fatty acid profile of Timahdite lamb breed. *Small Ruminant Research*, 144, 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.09.013>
 24. Budimir, K., Mozzon, M., Toderi, M., D'ottavio, P., Trombetta, M. F. (2020). Effect of breed on fatty acid composition of meat and subcutaneous

REFERENCES

- ous adipose tissue of light lambs. *Animals*, 10(3), Article 535. <https://doi.org/10.3390/ani10030535>
25. Hopkins, D. (2015). Sheep Quality. Effect of breed, genetic type, gender and age on meat quality. Chapter in a book: Meat quality: genetic and environmental factors. New York: CRC Press, 2015. <https://doi.org/10.1201/b19250>
 26. Blasco, M., Campo, M. M., Balado, J., Sanudo, C. (2019). Effect of Texel crossbreeding on productive traits, carcass and meat quality of Segurena lambs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3335–3342. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9549>
 27. Yarali, E., Yilmaz, O., Cemal, I., Karaca, O., Taşkin T. (2014). Meat quality characteristics in Kivircik lambs. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 38(4), 452–458. <https://doi.org/10.3906/vet-1309-79>
 28. Kolosov, Yu. A., Nemashkalov, G. P., Shtrykov, A. N. (2017). Rostov region: the state of the base of pedigree sheep breeding. *Sheep, Goats, Wool Business*, 4, 14–16. (In Russian)
 29. Selionova, M. I., Bobryshova, G. T., Gadzhiev, Z. K., Izmalkov, S. A. (2017). The economy of sheep breeding: pros and cons. *Sheep, Goats, Wool Business*, 1, 5–9. (In Russian)
 30. Bagirov, V. A., Iolchiev B. S., Klenovitsky, P. M., Zinoveva, N. A. (2015). Production of viable interspecies hybrids of domestic and wild sheep using cryopreserved Epididymal SPERT. *Reproduction in Domestic Animals*, 50(3), 44.
 31. Latawiec, A. E., Strassburg, B. B. N., Valentim, J. F., Ramos, F., Alves-Pinto, H. N. (2014). Intensification of cattle ranching production systems: socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil. *Animal*, 8(8), 1255–1263. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001566>
 32. Giro, T. M., Molchanov, A. V., Kozin, A. N., Giro, A. V., Fat'yanov, E. V., Svetlov, V. V. (2021). Use of iodine and selenium enriched fodder rations for production of fortified young lamb. *Theory and Practice of Meat Processing*, 6(1), 46–55. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2021-6-1-46-55>
 33. Orlova, O. N., Mkrtichyan, V. S., Skrypnik, L. V., Krichun, L. V. (2021). Research of the overall chemical and amino acid composition of meat from young animals of new sheep genotypes. *Theory and Practice of Meat Processing*, 6(3), 248–254. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2021-6-3-248-254>
 34. Aboneev, V. V., Aboneev, D. V., Tarchokov, T. T., Sukhanova, S. F., Aboneev, E. V., Marchenko, V. V. (2019). *Improving the competitiveness of fine-wool sheep using local and world stud rams*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Conference on Innovations in Agricultural and Rural Development. Article 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012045>
 35. Lisitsyn A. B., Chernukha I. M., Kuznetsova T. G., Orlova O. N., Mkrtichyan V. S. (2011). Chemical composition of meat: reference tables of general chemical, amino acid, fatty acid, vitamin, macro- and microelement compositions and nutritional (energy and biological) value of meat. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Meat Industry named after V. M. Gorbatov Meat Research Institute, 2011. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Орлова Ольга Николаевна — кандидат экономических наук, директор, Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова 344000, Ростов-на-Дону, ул. Ломоносовская, 203 Тел: +7-863-264-67-62 E-mail: WNIIMP-DON@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7245-5173 * автор для контактов	Olga N. Orlova , Candidate of Economic Sciences, Director, North-Caucasian Branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 203, Lermontovskaya Str., 344000, Rostov-on-Don, Russia Tel: +7-863-264-67-62 E-mail: WNIIMP-DON@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7245-5173 * corresponding author
Дмитриева Людмила Сергеевна — научный, сотрудник, Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова 344000, Ростов-на-Дону, ул. Ломоносовская, 203 Тел: +7-863-264-67-62 E-mail: WNIIMP-DON@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2925-9756	Ludmila S. Dmitrieva , Research Scientist, North-Caucasian Branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 203, Lermontovskaya Str., 344000, Rostov-on-Don, Russia Tel: +7-863-264-67-62 E-mail: WNIIMP-DON@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2925-9756
Ерошенко Валентина Ивановна — ведущий инженер, Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова 344000, Ростов-на-Дону, ул. Ломоносовская, 203 Тел: +7-863-264-67-62 E-mail: WNIIMP-DON@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2762-6989	Valentina I. Erochenko , Research Engineer, North-Caucasian Branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 203, Lermontovskaya Str., 344000, Rostov-on-Don, Russia Tel: +7-863-264-67-62 E-mail: WNIIMP-DON@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2762-6989
Кричун Людмила Викторовна — ведущий инженер, Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова 344000, Ростов-на-Дону, ул. Ломоносовская, 203 Тел: +7-863-264-67-62 E-mail: WNIIMP-DON@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0885-4516	Ludmila V. Krichun , Research Engineer, North-Caucasian Branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 203, Lermontovskaya Str., 344000, Rostov-on-Don, Russia Tel: +7-863-264-67-62 E-mail: WNIIMP-DON@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0885-4516
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/10.21323/2618-9771-2022-5-3-239-248>

Received 09.09.2022

Accepted in revised 19.09.2022

Accepted for publication 26.09.2022

© Myagkonosov D. S., Abramov D. V., Delitskaya I. N., Bukcharina G. B., 2022



Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

EFFECT OF THE RECOMBINANT CHYMOSINS OF DIFFERENT ORIGINS ON THE QUALITY AND SHELF LIFE OF SOFT CHEESES

Dmitriy S. Myagkonosov*, Dmitriy V. Abramov, Irina N. Delitskaya, Galina B. Bukcharina

All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking, Uglich, Yaroslavl Region, Russia

KEY WORDS:

soft cheese, milk-clotting enzymes, recombinant chymosin, proteolysis, bitter taste, rheology, microstructure

ABSTRACT

The effect of the type (bovine chymosin (Chy-max Extra), camel chymosin (Chy-max M), and modified camel chymosin (Chy-max Supreme)) and applied dose (1500, 2500, or 3500 IMCU/100 kg of milk) of milk-clotting enzyme (MCE) on the proteolysis degree, microstructure, rheological and sensory properties of Crescenza soft cheese was studied. The proteolysis degree of cheeses was directly proportional to the general proteolytic activity (PA) and dose of the MCEs added into milk during the cheese production. With an equal dose of the MCEs added into milk, the highest level of proteolysis was noted in the cheese options produced with recombinant bovine chymosin (Chy-max Extra). There were no statistically significant differences ($p > 0.05$) in the proteolysis degree between the cheese options made with the same doses of the camel chymosin (Chy-max M) and modified chymosin (Chy-max Supreme). After 21 days of storage, the cheeses with Chy-max Extra MCE had the most plastic consistency, while the cheeses with Chy-max Supreme MCE had the hardest and most elastic one. Cheeses produced with Chy-max M MCE occupied an intermediate position in terms of consistency density. Recombinant MCEs based on camel chymosin (Chy-max M) and modified chymosin (Chy-max Supreme) with low level of PA, may be recommended for use in the production of soft cheeses. This will extend the shelf life of cheeses by slowing-down the plasticization rate of their consistency.

FUNDING: The article was prepared as part of the research under the state assignment No. FNEN-2019-0010 of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences.

Поступила 09.09.2022

Поступила после рецензирования 19.09.2022

Принята в печать 26.09.2022

© Мягконосов Д. С., Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Бухарина Г. Б., 2022

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ВЛИЯНИЕ РЕКОМБИНАНТНЫХ ХИМОЗИНОВ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА КАЧЕСТВО И СРОКИ ХРАНЕНИЯ МЯГКИХ СЫРОВ

Мягконосов Д. С.*, Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Бухарина Г. Б.

Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, Углич, Ярославская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

мягкий сыр, молокосвертывающий фермент, рекомбинантные химозины, протеолиз, горький вкус, реология, микроструктура

АННОТАЦИЯ

Изучено влияние типа (химозин теленка (МФ Chy-max Extra), химозин верблюда (МФ Chy-max M), «модифицированный» химозин верблюда (МФ Chy-max Supreme)) и дозы внесения (1500, 2500 или 3500 IMCU/100 кг молока) молокосвертывающих ферментов на степень протеолиза, микроструктуру, реологические и сенсорные показатели мягкого сыра Кресченца. Степень протеолиза в сырах, была прямо пропорциональна удельной протеолитической активности и дозе МФ, внесенных в молоко при производстве сыра. При равной дозе внесения МФ в молоко, наибольший уровень протеолиза отмечался в вариантах сыров, произведенных с рекомбинантным химозином теленка (МФП Chy-max Extra). Отсутствовали статистически достоверные различия ($p > 0,05$) по степени протеолиза в вариантах сыров, произведенных с одинаковыми дозами химозина верблюда (МФП Chy-max M) и «модифицированного» химозина (МФП Chy-max Supreme). Через 21 сут хранения, консистенция сыров с МФ Chy-max Extra была наиболее пластичной, консистенция сыров с МФ Chy-max Supreme наиболее твердой и упругой. Сыры, изготовленные с МФ Chy-max M, занимали промежуточное положение по плотности консистенции. Рекомбинантные МФ на основе химозина верблюда (Chy-max M) и «модифицированного» химозина (Chy-max Supreme), обладающие низким уровнем ПА, можно рекомендовать для использования в производстве мягких сыров в целях замедления скорости пластификации консистенции сыров в процессе хранения и увеличения за счет этого продолжительности срока сыров.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FNEN-2019-0010 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

FOR CITATION: Myagkonosov, D. S., Abramov, D. V., Delitskaya, I. N., Bukcharina, G.B. (2022). Effect of the recombinant chymosins of different origins on the quality and shelf life of soft cheeses. *Food Systems*, 5(3), 239-248. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-239-248>

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мягконосов, Д. С., Абрамов, Д. В., Делицкая, И. Н., Бухарина, Г. Б. (2022). Влияние рекомбинантных химозинов разного происхождения на качество и сроки хранения мягких сыров. *Пищевые системы*, 5(3), 239-248. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-239-248>

1. Introduction

Proteolysis is an important part of cheese ripening and occurs as a result of action produced by a milk-clotting enzyme (MCE) and enzymes of starter microorganisms. These components remain active after the completion of cheese production in the cheese bath, which leads to undesirable over-ripening of cheese during the storage that is expressed in the appearance of taste and consistency defects.

In the hard and semi-hard cheeses a considerable part of the MCE is removed from the cheese curd into the whey [1,2]. In the pizza-cheeses (pasta filata) the MCE is mainly inactivated by high temperature applied to the cheese mass for softening before stretching [3].

In the soft cheeses with high moisture content, a significant amount of the MCE is retained in the aqueous phase of cheeses. A greater retention of the MCE in the cheese mass is favored by the low pH of the milk curd set in the process of soft cheese production [4,5]. A combination of high moisture content, low pH, and low salt concentration in the soft cheeses promotes the MCE proteolytic activity (PA) [6,7].

Two approaches can regulate the MCE proteolytic activity in cheeses:

- reduction of the MCE dose;
- use of the MCE with a low PA level.

The MCE dose reduction is associated with such disadvantages as the longer duration of coagulation and the formation of the cheese curd with a higher moisture content. However, negative effects of the MCE dose reduction may be compensated by increasing the milk-clotting activity (MCA) of the MCE with optimized milk coagulation conditions. These conditions include the increased temperature of coagulation ($> 34^{\circ}\text{C}$), the milk acidification (below pH 6.6), the enrichment of milk with protein (e. g., with milk powder) and calcium ions (CaCl_2) [8,9].

The use of a MCE with a low PA does not require any adjustments of the cheese processing technology. Recombinant bovine and camel chymosin preparations are used as the MCEs with low PA [10,11,12,13,14]. A modified chymosin preparation has recently been put on the market under the brand name Chy-max® Supreme by Chr. Hansen A/S [15]. Modified chymosin is reported to be 95% identical to camel chymosin and has a higher specific MCA level and remains active at a higher pH as compared with the natural camel chymosin [16]. Thanks to these properties, the modified chymosin can induce a rapid coagulation of milk without its prior acidification with a lactic acid starter.

The aim of this paper is to study the effect of the type and the dose of MCEs based on recombinant chymosins of different origin on the proteolysis in soft cheeses and proteolysis-associated processes of cheese structure and consistency changing. The study was conducted in the process of producing soft cheese of the Italian type Crescenza [17]. The choice of Crescenza cheese for the study was associated with two factors. First, the previous studies showed that the shelf life of Crescenza soft cheese could be increased by means of reducing proteolysis in cheese resulted from the use of camel chymosin instead of bovine rennet [10]. Second, a combination of high temperature (38°C) and low pH level (6.2–6.4 pH units) during milk coagulation in Crescenza cheese technology [18] corresponds to the optimal conditions for the MCE activity and opens up the potential for using a reduced MCE dose without compromising the positivity of milk coagulation and the moisture content of the resulting milk curd.

2. Materials and methods

2.1. Materials

In the studies, milk from a single supplier, Agrivolga LLC (Yaroslavl region, Burmasovo village) was used. A lactic acid starter based on direct-to-vat bacterial concentrates (DVS-type)

STI®-12 and STI®-14 that contained *Str. thermophilus* strains (Chr Hansen A/S) and MCEs of the following brands (Chr Hansen A/S): Chy-max® Extra 600 Liquid, Chy-max® M 1000, and Chy-max® Supreme 1000 was used in the cheese production.

The qualification of reagents used for analysis was at least “analytical grade”.

2.2. Determination of proteolytic activity of milk-clotting enzymes

The proteolytic activity of milk-clotting enzymes was evaluated according to GOST 34430–2018¹ (Russian National Standard), as applied to weakly acidic proteases (at pH 5.3). Information on the values of the milk-clotting and proteolytic activity of the MCEs used in this study is given in our article [19].

2.3. Cheese production

Information on the process conditions of Crescenza cheese production and composition of the resulting cheeses at the beginning of the storage period is given in [19].

2.4. Methods for compositional analysis and proteolysis determination of cheeses

Chemical composition of cheeses was studied in the course of storage at 7, 14, and 21 days.

The dry matter content in cheeses was determined by heating at a temperature of $102 \pm 2^{\circ}\text{C}$ according to IDF 4 standard². The protein content in cheeses was determined by Kjeldahl method according to IDF/RM 25 standard³. The mass fraction of NaCl in cheeses was determined by Mohr method using titration with AgNO_3 [20]. The active acidity of cheeses was measured on a Testo 206-pH2 digital pH-meter (Testo SE & Co. KGaA, Federal Republic of Germany) in a suspension obtained by grinding 10 g of cheese with 10 of distilled water.

The degree of proteolysis in cheeses was evaluated (in percent) as a ratio of the water-soluble nitrogen content (WSN) to the total nitrogen (TN) content in cheeses. Water-soluble nitrogen content was determined in water-soluble extracts of cheeses obtained by Kuchroo and Fox method as modified in [21].

2.4.1. Molecular weight distribution of proteolysis products

Molecular weight distribution of soluble protein substances was determined in water-soluble extracts of cheeses by high resolution gel filtration using a column Superose 12 10/300 GL (GE Healthcare, Sweden). For analysis, an extract for determination of soluble protein mass fraction was used, additionally filtered through cellulose acetate filters with a pore size of $0.45 \mu\text{m}$ (Vladipor, Russia). An eluent was $0.05 \text{ M Na}_2\text{HPO}_4 + 0.15 \text{ M NaCl}$ aqueous solution; the flow rate of the eluent was 0.5 ml/min ; detection wavelength was 280 nm . The column was calibrated against the elution time of the protein substances with a known molecular weight: IgG (180 kDa), aldolase (158 kDa), BSA (69 kDa), ovalbumine (43 kDa), β -Lg (36.0 kDa), α -La (14.4 kDa), cytochrome C (12.3 kDa), tryptophan (0.204 kDa). A calibration curve was based on a logarithmic regression model [22]. Molecular weight distribution was calculated as an area proportion of individual peptide fractions in the total area under the chromatogram. The result was expressed as a percent content of peptide fractions within various ranges of the molecular weight [23].

¹ GOST 34430–2018 Enzyme preparations for food industry. Method for the determination of proteolytic activity. M.: Standartinform, 2018–12 p.

² ISO 5534:2004[IDF 4:2004] Cheese and processed cheese — Determination of the total solids content (Reference method).

³ SO/TS17837:2008[IDF/RM 25:2008] Processed cheese products — Determination of nitrogen content and crude protein calculation — Kjeldahl method.

2.5. Rheology

Rheological properties of cheeses were studied using a Weissenberg rheogoniometer, model R-19 (Sangamo Weston Controls Limited, the UK). Testing mode: periodic shearing deformation with a preset frequency and amplitude of oscillations. A combination of “cone-plane” with a diameter of 25 mm was used as working tools. A cone-apex angle was 2°. The linearity of periodic deformation mode was attained at an amplitude of angular displacements of the working tools of $1.1 \cdot 10^{-3}$ rad at a frequency of 3.16 Hz. The temperature of samples in the course of measurements was $21 \pm 1^\circ\text{C}$. Based on determined primary viscoelastic terms (the storage modulus, G' , and loss modulus, G'') complex modulus (G^*) along with phase angle tangent ($\tan \delta$), were calculated [24].

2.6. Microstructure studies

The microstructure of cheeses was studied by the method of light microscopy in oblique lighting mode, on micro-sections of cheese with a thickness of $100 \pm 10 \mu\text{m}$. Photo images were taken with a Canon EOS600D digital camera. Image correction was carried out with Digital Photo Professional software v.4.5 (Canon Inc.).

2.7. Experimental design and statistical analysis

The study was conducted on the basis of a full factorial design [25], which included 2 categorical factors varying at 3 levels, i. e. the factor of “MCE brand” (Chy-max Extra, Chy-max M and Chy-max Supreme) and the factor of “MCE dose” (1500, 2500, and 3500 IMCU / 100 kg of milk). The experiments were carried out in triplicate in a randomized order.

The combined effect of experimental factors and cheese storage time on the response variables (pH, degree of proteolysis, and rheological properties) was assessed by modifying the selected full factorial design into a “split-plot” design [26] with introduction of an additional factor, “age”.

Statistical processing of the experimental data is carried out using a Statistica® application software (ver. 5.5, StatSoft, the USA).

3. Results and discussion

Table 1 shows the results of assessing the effect of factors on response variables by two-way ANOVA.

The ANOVA results given in Table 1 suggest that the effect of experimental factors (“MCE type”, “MCE dose”, and “cheese age”) on the response variables (pH, degree of proteolysis, and rheological properties of cheeses during storage) may have different strength.

Table 1. Mean sum of squares deviations, level of statistical significance (in parentheses), and R^2 values of the ANOVA model for response variables

Factor	df	pH	Degree of proteolysis, %	Complex shear modulus (G^*), Pa	Loss tangent ($\tan \delta$)
Type	2	0.004 (–)	67.007 (***)	71 086 530 (***)	0.22151 (***)
Dose	2	0.015 (**)	20.673 (***)	10 168 610 (*)	0.01103 (–)
Age	2	0.063 (***)	140.266 (***)	1 037 347 000 (***)	1.11991 (***)
Type*Age	4	0.002 (–)	2.202 (***)	9 041 086 (***)	0.02317 (**)
Type*Dose	4	0.001 (–)	3.512 (***)	1 734 935 (–)	0.04677 (***)
Dose*Age	4	0.005 (–)	9.452 (***)	24 992 840 (***)	0.04467 (***)
Error	62	0.002	0.232	2 478 696	0.00443
R^2		0.58	0.97	0.94	0.92

df — number of degrees of freedom;

Factor keys: Type — MCE type; Dose — MCE dose; Age — cheese storage time; Error — percentage of the response variable variation related to an error;

R^2 — coefficient of determination for ANOVA model.

Level of statistical significance of the factor effect evaluation (in parentheses): “–” — no significant ($p > 0.05$); “*” — $p < 0.05$; “**” — $p < 0.01$; “***” — $p < 0.001$.

3.1. Acidity (pH)

There is a significant effect of “MCE dose” and “age” factors on the change in the pH level of cheeses during storage (Table 1). Depending on the size of effect on the “pH” response variable, the effecting factors are arranged in the following order: “age” > “MCE dose”. There is no paired effect of a factor set on the “pH” response variable. The selected set of the ANOVA model factors explains a 58% variation proportion for the “pH” response variable ($R^2 = 0.58$). Figure 1 shows the graphs demonstrating a change in the active acidity of Crescenza cheese options produced with different types and doses of MCEs during the cheese storage.

Data on the pH level in cheeses shown in Figure 1 demonstrates the nature of the effect exerted by “MCE dose” and “cheese age” factors on the pH value. The effect of the “age” factor on pH is associated with cheese pH reduction during storage resulted from transformation of milk sugar into lactic acid by starter bacteria. The graphs given in Figure 1 show that the pH reduction level during the storage of cheeses is approximately the same for all test options (~ 0.1 pH units). At the same time, due to the higher pH level at the baseline, cheeses produced with the maximum MCE dose (3500 IMCU/100 kg of milk) retain a higher pH level until the end of the storage time. This is one of the reasons explaining the effect of “MCE dose” factor on the pH value of cheeses.

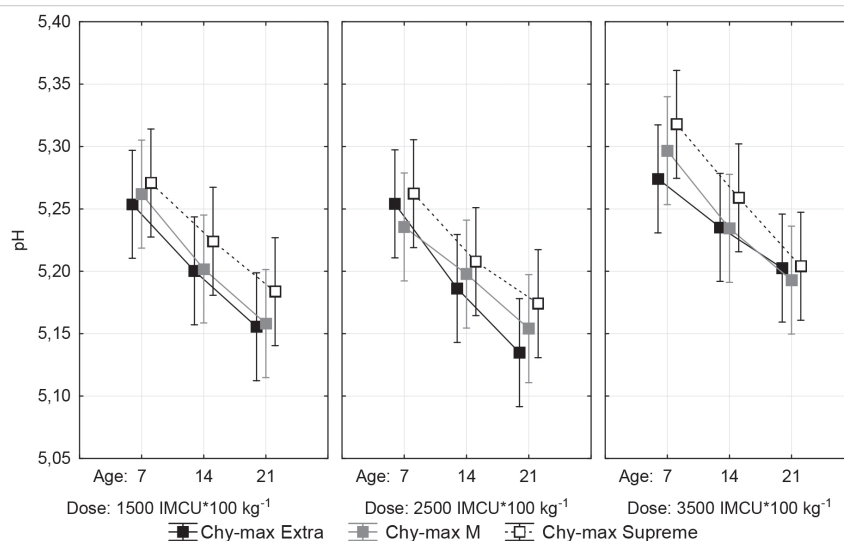


Figure 1. A behavior pattern of change in the active acidity of Crescenza cheese samples produced with different types and doses of MCEs, during storage of the cheese.

Keys: Age — the age of the cheese, days; Dose — 1500, 2500, and 3500 IMCU/100 kg — the MCE dose added into milk during cheese production. Data is given as “mean ± confidence interval ($p = 0.05$)”.

Another reason explaining the effect of MCE dose on the pH value of cheeses is an effect of MCE dose on the moisture content in cheeses in the beginning of the storage period. Figure 2 shows the dependence of the pH decrease during storage on the dry matter (moisture) content in cheeses.

The data of the graph (Figure 2) clearly demonstrates that cheeses produced with a higher MCE dose of 2500–3500 IMCU/100 kg (Group II) have on average a higher dry matter content (i. e. lower moisture content), than cheeses produced with a low MCE dose of 1500 IMCU/100 kg (Group I). The higher the moisture content in cheeses is, the higher the content of lactose dissolved in the aqueous phase is obtained. The greater amount of available lactose re-

sults in a greater formation of lactic acid by a lactic acid starter as well as in a greater decrease in the pH level in cheese.

3.2. Degree of proteolysis

The ANOVA results suggest that all the experimental factors exert a pronounced, significant ($p < 0.001$) effect on the degree of proteolysis in cheeses (Table 1). Depending on the size of effect on the “proteolysis degree” variable, the effecting factors are arranged in the following order: “age” > “MCE type” > “MCE dose”. The ANOVA model with the selected set of factors describes a variation of the “proteolysis degree” response variable in a significant manner at $R^2 = 0.97$. Figure 3 shows the graphs demon-

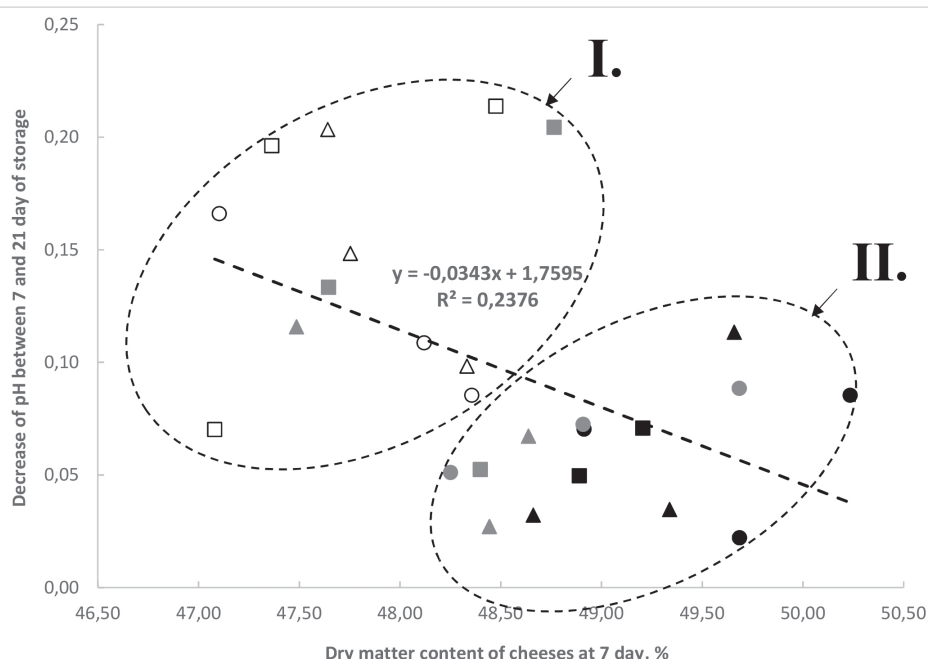


Figure 2. The relationship between the pH decrease of the cheese (between 7 and 21 days of storage) and the dry matter content in the cheese at the beginning of the storage period (7 days). Groups I and II are distinguished, which have statistically significant differences ($p < 0.05$) in average dry matter content and in the level of pH decrease. Cheese options are designated by the type and dose of the MCE used in the following manner: Chy-max Extra at an applied dose of 1500 IMCU/100 kg ($\square$), 2500 IMCU/100 kg ($\blacksquare$), 3500 IMCU/100 kg ($\blacksquare$); Chy-max M at an applied dose of 1500 IMCU/100 kg ($\triangle$), 2500 IMCU/100 kg ($\blacktriangle$), 3500 IMCU/100 kg ($\blacktriangle$); Chy-max Supreme at an applied dose of 1500 IMCU/100 kg ($\circ$), 2500 IMCU/100 kg ($\bullet$), 3500 IMCU/100 kg ($\bullet$).

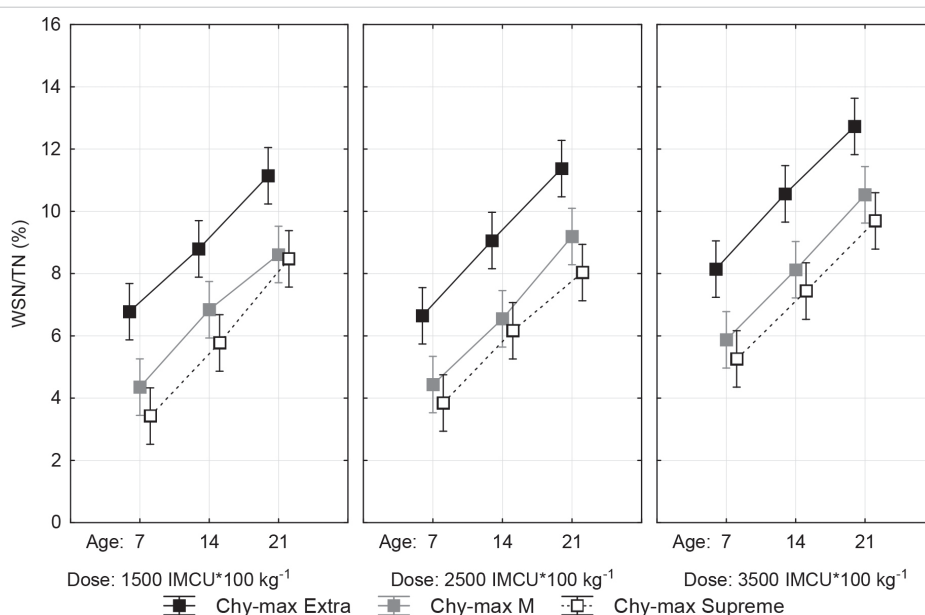


Figure 3. A behavior pattern of proteolysis in Crescenza cheese samples produced with various types and doses of MCEPs, during storage. Keys: Age — the age of the cheese, days; Dose — 1500, 2500, and 3500 IMCU/100 kg — the MCEP dose added into milk during cheese production. Data is given as “mean ± confidence interval ($p = 0.05$)”

strating a change in the proteolysis degree of Crescenza cheese options produced with different types and doses of MCEs during storage.

A behavior pattern of proteolysis plotted in Figure 3 suggests that the “age” exerts the most pronounced effect on the degree of proteolysis in cheeses. A near linear dependence of the proteolysis degree in cheeses on the age is observed. With an increasing dose of MCE added into milk, an increase in the degree of proteolysis is noted. The cheeses produced with the MCE of the same type, but with different doses of the MCE did not show any significant difference ($p < 0.05$) in proteolysis degree at the similar time points throughout the storage period.

With an equal dose of MCEs added into milk, the highest level of proteolysis during storage is noted in the cheese options produced with recombinant bovine chymosin (Chy-max Extra). There is no significant difference in the degree of proteolysis in the cheese options produced with the same doses of the camel chymosin (Chy-max M) and modified chymosin (Chy-max Supreme).

It was found earlier that the studied brands of recombinant chymosins had different levels of nonspecific PA [19]. Figure 4 shows the dependence of the proteolysis degree in cheeses after 21 days of storage on the MCE dose added into milk and calculated as PA.

The data shown in Figure 4 suggests that the degree of proteolysis in cheeses is proportional to the MCE dose added into cheeses and calculated as PA units. Therefore, the higher the PA of the milk-clotting enzyme is and the higher its dose is, the greater degree of proteolysis in cheese is obtained.

3.3. Molecular weight distribution of proteolysis products

Along with differences in proteolysis level, the studied MCEs also differ by the specific nature of proteolytic action. Figure 5 shows the diagrams of molecular weight distribution for Crescenza cheese samples produced with different types and doses of MCEs after 21 days of storage.

As compared to Chy-max M and Chy-max Supreme MCEs, Chy-max Extra MCE forms more proteolytic products with a weight of less than 5 kDa, which potentially have a bitter taste [27,28]. In fact, the samples of Crescenza cheese produced with Chy-max Extra MCE, demonstrated the development of bitter taste at the end of the storage time, and the intensity of this

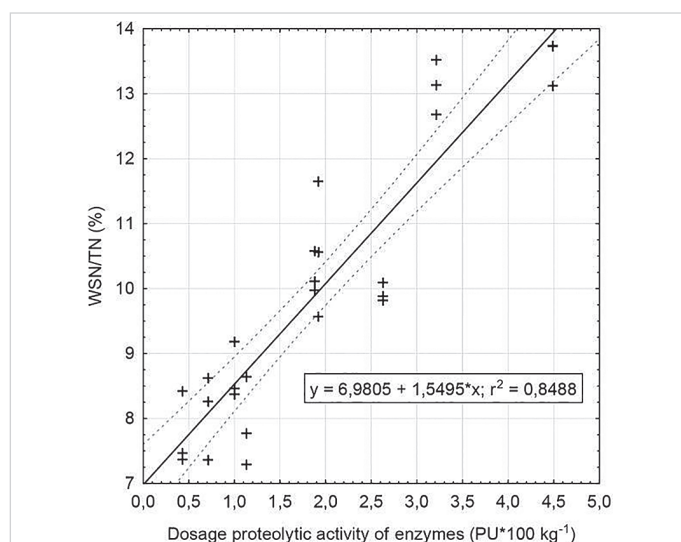


Figure 4. Dependence of the proteolysis degree in cheeses at storage day 21 on the number of PA units added into milk with a MCE

taste was proportional to the MCE dose added: from a “slight bitterness” at a dose of 1500 IMCU/100 kg to a “moderately pronounced bitter taste” at a dose of 3500 IMCU/100 kg. At the same time, for cheeses made with Chy-max M and Chy-max Supreme MCEs, even addition of the maximum dose was not associated with development of bitter taste till the end of the storage time. This is in line with the findings obtained by Bansal et al [14] who found that bitter taste developed during ripening in samples of Cheddar cheese produced with Chy-max Extra MCE, but not in samples of cheeses made with Chy-max M MCE.

Milk-clotting enzymes break down caseins mainly to high and medium molecular weight (over 10 kDa) peptides, and some of these peptides are not water-soluble [29,30]. Insoluble products of proteolysis that have passed through a filter with a pore size of 0.45 μm constitute a fraction of turbidity-forming particles in the filtrate, which elutes as a single high peak in the void volume (V_0) of the chromatographic column. The turbidity-forming particles also include other insoluble substances, such as fat particles and fragments of fat globule membranes [31]. There was no apparent association between the type or dose of

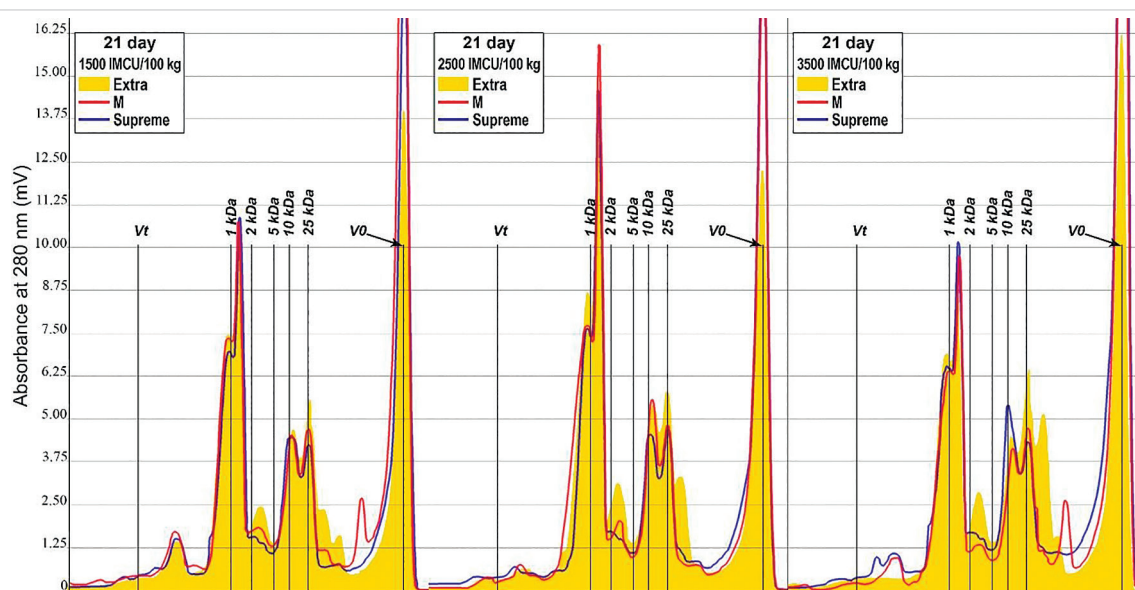


Figure 5. Molecular weight distribution of water-soluble proteolysis products in Crescenza cheese samples (at the age of 21 days) produced with different types and doses of MCEs. Keys for a MCE brand: Extra – Chy-max Extra; M – Chy-max M; Supreme – Chy-max Supreme. V_0 – void column volume, V_t – total column volume

a MCE and the quantitative content of the fraction of turbidity-forming particles in water-soluble extracts of cheeses.

The chromatogram shows a substantial number of soluble protein substances with a weight of 25 kDa or more (hereinafter we imply a fraction with a molecular weight over 25 kDa, which has a longer retention time than that of the fraction of turbidity-forming particles). The content of this fraction increases with an increase in the MCE dose from 1500 to 3500 IMCU/100 kg for all types of studied MCEs. The Chy-max Extra dose also shows the greatest effect on the content of the fraction with a weight of > 25 kDa. Protein substances of this molecular weight have no taste, therefore, an apparent consequence of the proteolysis characterized by predominant formation of peptides with a molecular weight > 25 kDa is the plasticization of cheese consistency due to degradation of its protein network caused by proteolysis rather than the formation of pronounced taste [32,33,34].

Due to the bond ruptures in the protein matrix that forms a bearing frame of the cheese, a high intensity of cheese proteolysis leads to a loss of the cheese mass cohesion, which is manifested by the plasticization of the consistency (excessively plastic, viscous, spreadable consistency). The association between the proteolysis and the cheese mass structure is confirmed by studies of the microstructure of cheeses produced with MCEs of various types [35,36,37].

3.4. Microstructure

The type and dose of the MCEs used in the production of test cheeses influenced not only the physical and chemical indicators and the degree of proteolysis of cheeses, but also their microstructure. Figure 6 shows the photo images depicting the typical appearance of the microstructure of Crescenza cheese

options produced with different types and doses of MCEs at the end of the storage time (21 days).

The fresh cheeses produced with MCEs of various types did not show any difference in the microstructure and were characterized by a heterogeneous structure, which consisted of distinctly separated grains. Besides, there were holes in the cheese structure filled with moisture or air bubbles (photo image not shown). Clear differences in the microstructure of cheeses developed by the end of the storage time.

Cheese mass protein hydration caused by proteolysis occurs during cheese storage. The moisture contained in the boundary layer separating the grains from each other is absorbed by the protein matrix, which results in the disappearance of boundaries between the grains and in the formation of a homogeneous cheese structure. The higher the degree of proteolysis in the cheese is, the greater change in the cheese structure since the beginning of its ripening and storage is observed. Cheeses with a low degree of proteolysis are characterized by a heterogeneous structure with distinctly separated cheese grains. Cheeses with a high degree of proteolysis demonstrate a more uniform, highly dispersed structure due to the disappearance of large grains as a result of their hydration [2,13,35]. Cheese samples produced with Chy-max M and Chy-max Supreme MCEs had a lower degree of proteolysis and a more massive structure of the casein network as compared with cheeses produced with Chy-max Extra MCE.

3.5. Rheological properties

ANOVA results given in Table 1 show that in terms of the effect size exerted on the complex modulus (G^*), the effecting factors are arranged in the following order: “age” > “MCE type” >

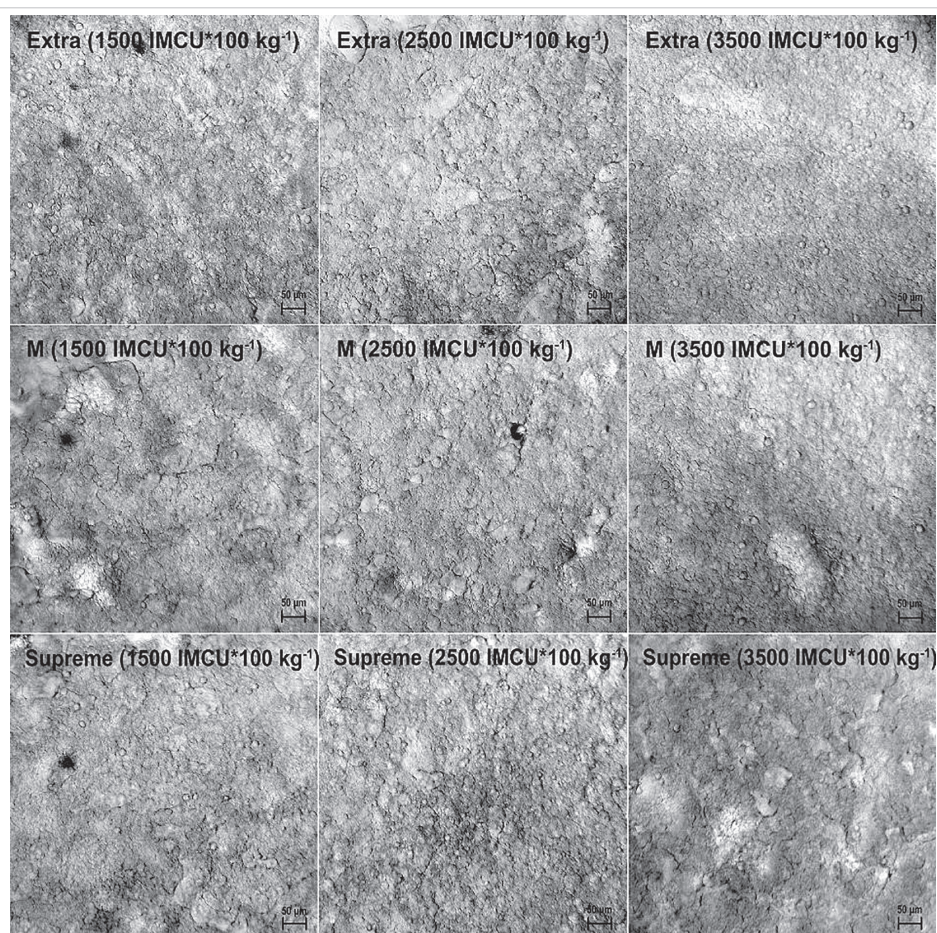


Figure 6. Microstructure of Crescenza cheese samples produced with different types and doses of MCEs. Keys for the MCE brands: Extra — Chy-max Extra; M — Chy-max M; Supreme — Chy-max Supreme

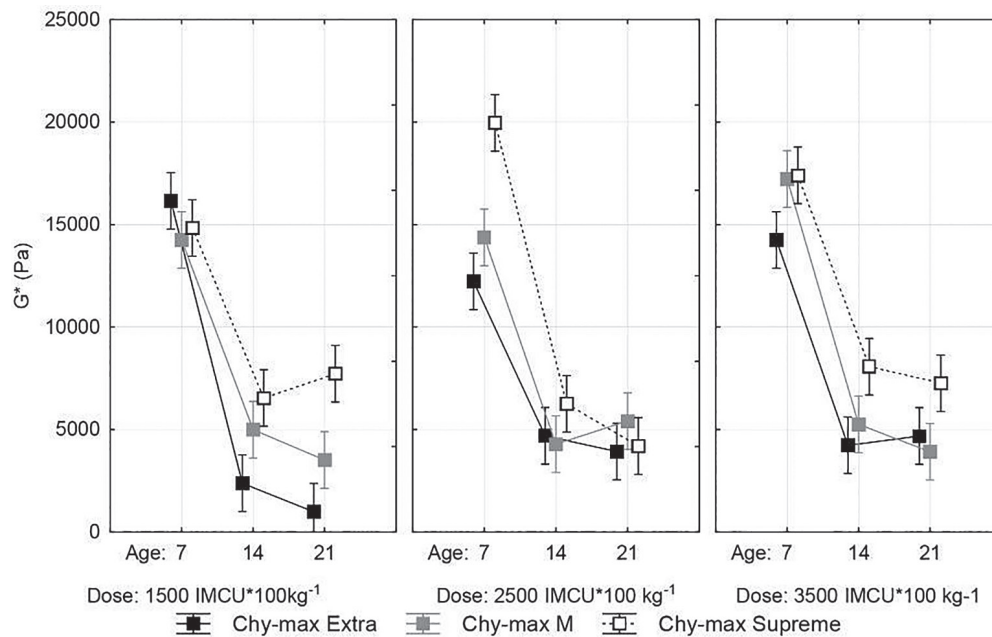


Figure 7. A behavior pattern of the complex modulus (G^*) changing during storage for Crescenza cheese samples produced with various types and doses of MCEs. Keys: Age — the age of the cheese, days; Dose — 1500, 2500, and 3500 IMCU/100 kg — MCE dose added during cheese production. Data is given as “mean $\pm$ confidence interval ($p = 0.05$)”

“MCE dose”. A selected set of factors included in the ANOVA model provides a significant description of the variation of the “complex modulus (G^*)” response variable at $R^2 = 0.94$.

Figure 7 shows a behavior pattern of G^* change for various options of the test cheeses during storage.

The complex modulus, G^* is calculated by the following formula [24]:

$$G^* = \sqrt{((G')^2 + (G'')^2)}, \quad (1)$$

where

G' is the storage modulus, Pa;

G'' is the loss modulus, Pa.

The G^* modulus reflects the overall reaction of a material to the deformation applied and therefore correlates most closely with the organoleptic estimation of the consistency. Cheeses with hard and elastic consistency are characterized by high G^* values, while cheeses with soft and plastic consistency are characterized by low G^* values [24,38].

The same trend is noted for all cheese options. The G^* value decreases until the 14th day of storage. After that time point, the G^* value remains stable. The G^* value shows no significant changes ($p < 0.05$) between day 14 and day 21 of storage. The decrease in the G^* value from day 7 till day 14 is reflected by the change in cheese consistency, which varies from slightly heterogeneous (which is typical for fresh cheese) to coherent. In the period of time from day 14 till day 21 there are also no changes in cheese consistency in the absence of significant changes in the G^* values.

A clear effect of the MCE type used in the production of cheeses is noted for the rheological properties and sensory assessment of consistency. With the same dose of a MCE, the cheeses produced with Chy-max Supreme MCE have a higher G^* level by the end of the storage time than that of the cheeses made by addition of Chy-max Extra or Chy-max M MCEs. There are no significant differences in G^* values between cheeses produced with the same doses of Chy-max Extra and Chy-max M MCEs throughout the entire storage time.

ANOVA results given in Table 1 show that in terms of the effect size exerted on the loss tangent ($\tan \delta$), the effecting factors are arranged in the following order: “age” > “MCE type”. There is

no direct significant effect of the “MCE dose” factor on the $\tan \delta$ value. At the same time, a significant effect on the $\tan \delta$ value is observed for the “MCE dose” factor when it acts in pair with the “age” and “MCE type” factors. The ANOVA model with the selected set of factors describes a variation of the “ $\tan \delta$ ” response variable in a significant manner at $R^2 = 0.92$.

Figure 6 shows a behavior pattern of the $\tan \delta$ change for various options of the test cheeses during storage.

The loss tangent ($\tan \delta$) is calculated by the following formula [24]:

$$\tan(\delta) = \frac{G''}{G'} \quad (2)$$

Low values obtained for $\tan \delta$ indicate that gel properties (elasticity, flexibility) are prevailing in the sample. High values indicate the prevalence of liquid properties (fluidity, viscosity) of the sample.

Analysis of the data shown in the graphs (Figure 8) allows us to draw the following conclusions. For the cheeses produced with the same type and dose of the MCE, a significant increase in the $\tan \delta$ value ($p < 0.05$) is observed between day 7 and day 14 of storage. The changes in the $\tan \delta$ level of cheeses are insignificant ($p > 0.05$) between day 14 and day 21 of storage. Changes in the $\tan \delta$ values were accompanied by the change in the sensory assessment of the cheese consistency from “elastic” at 7 days to “plastic” at 21 days.

The $\tan \delta$ ($\tan \delta > 1$) values obtained in this study are higher than the values of $\tan \delta$, obtained by other investigators. Alinovi et. al [10] measured the rheological properties of Crescenza cheese and obtained the $\tan \delta$ values in the range of 0.25–0.33 at a test sample temperature of 4 °C. In the study by Rogers et al [39] evaluating the rheological properties of Cheddar cheese, it was found that the G' and G'' values obtained for cheeses at 10 °C were higher than those obtained at 25 °C. The high $\tan \delta$ values obtained in this study may be explained by the composition of cheeses and the measurement conditions. Measurements were taken at a temperature of 22 ± 1 °C, which affected the plasticity of the fatty phase and resulted in a reduced hardness (G' parameter) and an increased fluidity of the cheese mass (G'' parameter). This affected the $\tan \delta$ parameter derived from G' and G'' .

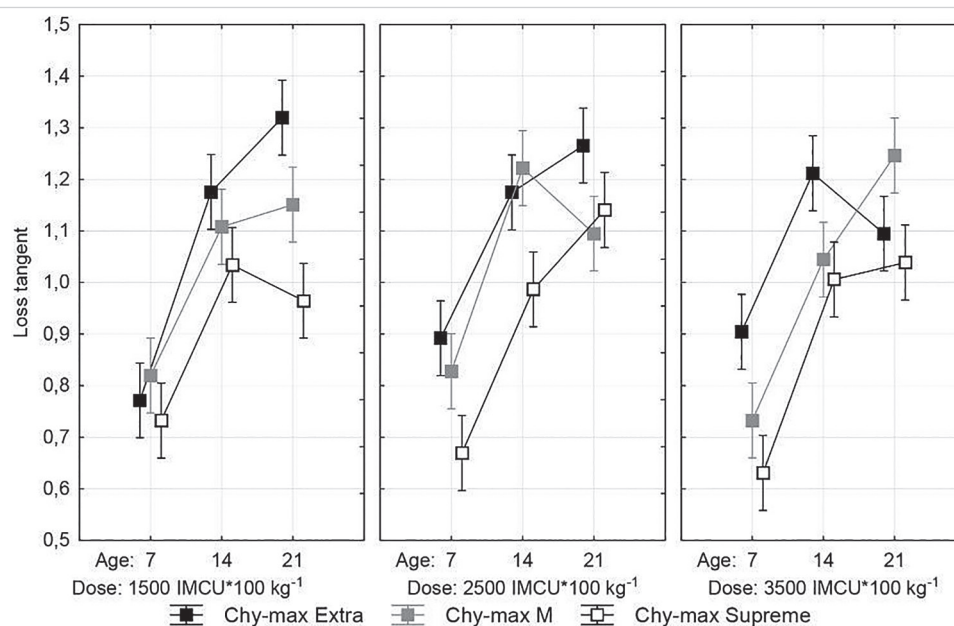


Figure 8. A behavior pattern of the loss tangent ($\tan \delta$) changing during storage for Crescenza cheese samples produced with different types and doses of MCEs. Keys: Age – the age of the cheese, days; 1500, 2500, and 3500 IMCU/100 kg – the MCE dose added during cheese production. Data is given as “mean $\pm$ confidence interval ($p = 0.05$)”

3.6. Cheese consistency

Figure 9 shows the photo images of the appearance of Crescenza cheeses produced with various types of MCEs at the minimum and maximum doses.

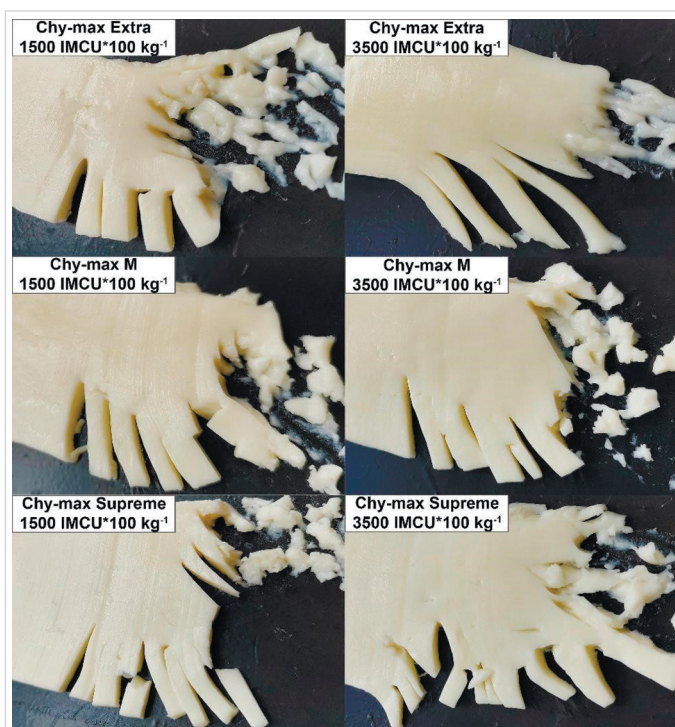


Figure 9. Structure (appearance) of the test Crescenza cheeses produced with different types and doses of MCEs after 21 days of storage. Cutting was made to show the sliceability of the cheese

After 21 days of storage, all options of the test Crescenza cheeses maintained the consistency desirable for high-quality cheese. No combination of the studied MCE type and dose showed the formation of viscous, spreadable, knife-sticking consistency of cheese. There were differences in the consistency of cheeses produced with different types and doses of MCEs. Among the cheese options with the same dose of a MCE, the cheeses

made with Chy-max Extra MCE had the most plastic consistency, while cheeses produced with Chy-max Supreme MCE had the hardest and most elastic one. The consistency of cheeses made with Chy-max M MCE was distinctly harder than that of cheeses produced with Chy-max Extra MCE, but less hard than that of cheeses made with Chy-max Supreme. Comparison of cheeses produced with the same type of the MCE suggests that cheeses produced with a higher dose of the MCE had the denser, thicker consistency than that of cheeses produced with a lower dose of the MCE. The sensory assessment findings obtained for cheeses were in line with their rheological properties.

4. Conclusions

Differences in the type (bovine chymosin (Chy-max Extra MCE), camel chymosin (Chy-max M MCE), modified camel chymosin (Chy-max Supreme MCE)) and the dose (1500, 2500 or 3500 IMCU/100 kg of milk) of MCEs used in production of cheeses led to the significant differences ($p < 0.05$) in the behavior pattern of changes in cheese proteolysis and rheological properties during storage.

The proteolysis degree of cheeses was in direct proportion to the number of PA units added into milk for cheese processing together with a MCE. With an equal dose of the MCEs added into milk, the highest level of proteolysis was noted in the cheese options produced with recombinant bovine chymosin (Chy-max Extra MCE). There were no statistically significant differences ($p > 0.05$) in the degree of proteolysis between the cheese options produced with the same doses of the camel chymosin (Chy-max M MCE) and modified chymosin (Chy-max Supreme MCE).

With the equal doses of MCEs, the cheeses produced with Chy-max Supreme MCE had a higher G^* level by the end of the storage time (21 days) than that of the cheeses produced with Chy-max Extra or Chy-max M MCEs. There were no significant differences ($p > 0.05$) in G^* values between cheeses produced with the same doses of Chy-max Extra and Chy-max M MCEs throughout the entire storage time.

Microscopic findings confirmed the mechanism of effect exerted by proteolysis on the rheological properties and cheese consistency that was described in the scientific literature. Proteolysis leads to a degradation of the protein matrix that forms a bearing frame of the cheese. An increased degree of proteo-

lysis is associated with the intensified destruction of the protein network; as a result, the elastic properties of the cheese mass characteristic of fresh cheeses decrease, and the plastic properties of the cheese mass typical of ripened cheeses develop. The increased plastic properties of cheeses during storage resulted in an increased loss tangent ($\tan \delta$).

By comparing the dependences of the pH level on the moisture content in cheese and of the moisture content in cheese on the type and dose of MCEs used in the production of cheese, a processing method was formulated that allows the manufacturer to adjust the cheese consistency by selecting the type and dose

of a MCE. The use of a MCE with a low level of PA (Chy-max M or Chy-max Supreme) at an increased dose (3500 IMCU/100 kg) yields cheeses with a higher dry matter content and a higher pH level. Such cheeses have a dense consistency that changes only slightly by the end of the cheese shelf life.

Recombinant MCEs based on camel chymosin (Chy-max M) and modified chymosin (Chy-max Supreme) which have a low PA level and exert a low proteolysis level may be recommended for use in production of soft cheeses to slow-down the plasticization rate of cheese consistency and hence to increase their shelf life.

REFERENCES

- Johnson, M., Law, B. A. (2010). The origins, development and basic operations of cheesemaking technology. Chapter in a book: Technology of cheesemaking. Chichester: Blackwell Publishing Ltd, 2010.
- Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2010). The effect of coagulant type on yield and sensory properties of semihard cheese from laboratory-, pilot- and commercial-scale productions. *International Journal of Dairy Technology*, 63(3), 370–380. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00598.x>
- Kindstedt, P. S., Hillier, A. J., Mayes, J. J. (2010). Technology, Biochemistry and Functionality of Pasta Filata/Pizza Cheese. Chapter in book: Technology of cheesemaking. Chichester: Blackwell Publishing Ltd, 2010.
- Børsting, M. W., Qvist, K. B., Ardö, Y. (2014). Influence of pH on retention of camel chymosin in curd. *International Dairy Journal*, 38(2), 133–135. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.01.001>
- Wilkinson, M. G., Kilcawley, K. N. (2005). Mechanisms of incorporation and release of enzymes into cheese during ripening. *International Dairy Journal*, 15(6–9), 817–830. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.08.021>
- Hynes, E. R., Meinardi, C. A., Sabbag, N., Cattaneo, T., Candiotti, M. C., Zalazar, C. A. (2001). Influence of milk-clotting enzyme concentration on the α s1-casein hydrolysis during soft cheeses ripening. *Journal of Dairy Science*, 84(6), 1335–1340. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70163-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70163-4)
- Alinovi, M., Rinaldi, M., Mucchetti, G. (2018). Spatiotemporal characterization of texture of Crescenza cheese, a soft fresh Italian cheese. *Journal of Food Quality*, 2018, Article 5062124. <https://doi.org/10.1155/2018/5062124>
- Kindstedt, P. S., Yun, J. J., Barbano, D. M., Larose, K. L. (1995). Mozzarella cheese: Impact of coagulant concentration on chemical composition, proteolysis, and functional properties. *Journal of Dairy Science*, 78(12), 2591–2597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76887-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76887-4)
- Nájera, A. I., de Renobales, M., Barron, L. J. R. (2003). Effects of pH, temperature, CaCl₂ and enzyme concentrations on the rennet-clotting properties of milk: a multifactorial study. *Food Chemistry*, 80(3), 345–352. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00270-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00270-4)
- Alinovi, M., Cordioli, M., Francolino, S., Locci, F., Ghiglietti, R., Monti, L. et al. (2018). Effect of fermentation-produced camel chymosin on quality of Crescenza cheese. *International Dairy Journal*, 84, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.04.001>
- McCarthy, C. M., Wilkinson, M. G., Guinee, T. P. (2017). Effect of coagulant type and level on the properties of half-salt, half-fat Cheddar cheese made with or without adjunct starter: improving texture and functionality. *International Dairy Journal*, 75, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.07.006>
- Soltani, M., Sahingil, D., Gokce, Y., Hayaloglu, A. A. (2019). Effect of blends of camel chymosin and microbial rennet (rhizomucor miehei) on chemical composition, proteolysis and residual coagulant activity in Iranian Ultrafiltered White cheese. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 589–598. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3513-3>
- Moynihán, A. C., Govindasamy-Lucey, S., Jaeggi, J. J., Johnson, M. E., Lucey, J. A., McSweeney, P. L. H. (2014). Effect of camel chymosin on the texture, functionality, and sensory properties of low-moisture, part-skim Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 97(1), 85–96. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7081>
- Bansal, N., Drake, M. A., Piraino, P., Broe, M. L., Harboe, M., Fox, P. F. et al. (2009). Suitability of recombinant camel (*Camelus dromedarius*) chymosin as a coagulant for Cheddar cheese. *International Dairy Journal*, 19(9), 510–517. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.03.010>
- Working together to produce more cheese from milk. Retrieved from <http://sdt-static.s3.amazonaws.com/media/uploads/2019/05/13/1CHR%20HANSEN190508%20SDT%20Presentation%20CHR%20Hansen.pdf> Accessed August 8, 2022.
- HA-LA BIOTEC. CHY-MAX® SUPREME — A PRODUÇÃO DE QUEIJO EM UM NOVO PATAMAR Retrieved from http://halabiotec.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Ha-La-Biotec_147.pdf Accessed August 20, 2022.
- Gobbetti, M., Neviani, E., Fox, P. (2018). The Most Traditional and Popular Italian Cheeses. Chapter in book: The Cheeses of Italy: Science and Technology. Springer, 2018.
- Tidona, F., Francolino, S., Ghiglietti, R., Locci, F., Carminati, D., Laforce, P. et al. (2020). Characterization and pre-industrial validation of *Streptococcus thermophilus* strains to be used as starter cultures for Crescenza, an Italian soft cheese. *Food Microbiology*, 92, Article 103599. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103599>
- Myagkonosov, D. S., Smykov, I. T., Abramov, D. V., Delitskaya, I. N., Krayushkina, V. N. (2022). Effect of the recombinant chymosins of different origins on production process of soft cheese. *Food Systems*, 5(2), 164–171. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-164-171>
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1978). Official methods of analysis (14th Ed) ed. E H Marth (Washington: American Public Health Association Inc.)
- Hayaloglu, A. A. (2007). Comparisons of different single-strain starter cultures for their effects on ripening and grading of Beyaz cheese. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 930–938. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01312.x>
- Visser, S., Slangen, C. J., Robben, A. J. P. M. (1992). Determination of molecular mass distributions of whey protein hydrolysates by high-performance size-exclusion chromatography. *Journal of Chromatography A*, 599(1–2), 205–209. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(92\)85474-8](https://doi.org/10.1016/0021-9673(92)85474-8)
- Wilkinson, M. G., Guinee, T. P., O'Callaghan, D. M., Fox, P. F. (1992). Effects of commercial enzymes on proteolysis and ripening in Cheddar cheese. *Lait*, 72, 449–459. <https://doi.org/10.1051/lait:1992533>
- Gunasekaran, S., Ak, M. M. (2000). Dynamic oscillatory shear testing of foods — selected applications. *Trends in Food Science and Technology*, 11(3) 115–127. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)00058-3](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)00058-3)
- Montgomery, D. C. (2013). Design and analysis of experiments. Wiley, 2013.
- Jones, B., Nachtsheim, C. J. (2009). Split-Plot Designs: What, why, and how. *Journal of Quality Technology*, 41(4), 340–361. <https://doi.org/10.1080/00224065.2009.11917790>
- Lee, K.-P. D., Warthesen, J. J. (1996). Preparative methods of isolating bitter peptides from Cheddar Cheese. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(4), 1058–1063. <https://doi.org/10.1021/jf950521j>
- Lee, K. D., Lo, C. G., Warthesen, J. J. (1996). Removal of bitterness from the bitter peptides extracted from cheddar cheese with peptidases from *Lactococcus lactis* sp. cremoris SK11. *Journal of Dairy Science*, 79(9), 1521–1528. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76512-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76512-8)
- Lemieux, L., Simard, R. E. (1992). Bitter flavour in dairy products. II. A review of bitter peptides from caseins: their formation, isolation and identification, structure masking and inhibition. *Lait*, 72(4), 335–385. <https://doi.org/10.1051/lait:1992426>
- Jacob, M. (2011). Milchgerinnungsenzyme verschiedener herkunft und ihr einfluss auf käseausbeute und käsequalität. Dissertation. Dresden: Technische Universität Dresden. Retrieved from: <https://d-nb.info/1067190643/34> Accessed August 18, 2022 (In German)
- Rinn, J.-C., Morr, C. V., Seo, A., Surak, J. G. (1990). Evaluation of nine semi-pilot scale whey pretreatment modifications for producing whey protein concentrate. *Journal of Food Science*, 55(2), 510–515. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06798.x>
- Sheehan, J. J., O'Sullivan, K., Guinee, T. P. (2004). Effect of coagulant type and storage temperature on the functionality of reduced-fat mozzarella cheese. *Lait*, 84(6), 551–566. <https://doi.org/10.1051/lait:2004031>
- Yasar, K., Guzeler, N. (2011). Effects of coagulant type on the physico-chemical and organoleptic properties of Kashar cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 64(3), 372–379. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2011.00679.x>
- García, V., Rovira, S., Teruel, R., Boutoal, K., Rodríguez, J., Roa, I. et al. (2012). Effect of vegetable coagulant, microbial coagulant and calf rennet on physicochemical, proteolysis, sensory and texture profiles of fresh goats cheese. *Dairy Science and Technology*, 92(6), 691–707. <https://doi.org/10.1007/s13594-012-0086-1>
- Soodam, K., Ong, L., Powell, I. B., Kentish, S. E., Gras, S. L. (2015). Effect of rennet on the composition, proteolysis and microstructure of reduced-fat cheddar cheese during ripening. *Dairy Science and Technology*, 95(5), 665–686. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0250-5>

36. Soltani M., Boran O. S., Hayaloglu A. A. (2016). Effect of various blends of camel chymosin and microbial rennet (*Rhizomucor miehei*) on microstructure and rheological properties of Iranian UF White cheese. *LWT*, 68, 724–728. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.028>
37. Karami, M., Ehsani, M.R., Mousavi, S.M., Rezaei, K., Safari, M. (2009). Changes in the rheological properties of Iranian UF-Feta cheese during ripening. *Food Chemistry*, 112(3), 539–544. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.003>
38. Piska, I., Štětina, J. (2004). Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 61(4), 551–555. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00217-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00217-6)
39. Rogers, N.R., McMahon, D.J., Daubert, C.R., Berry, T.K., Foegeding, E.A. (2010). Rheological properties and microstructure of Cheddar cheese made with different fat contents. *Journal of Dairy Science*, 93(10), 4565–4576. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3494>

AUTHOR INFORMATION		СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	
Affiliation		Принадлежность к организации	
Dmitry S. Myagkonosov , Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Research Department in Applied Biochemistry and Enzymology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7–915–973–63–13 E-mail: d.myagkonosov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4443-7573 * corresponding author		Мягконосов Дмитрий Сергеевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, руководитель направления исследований по прикладной биохимии и энзимологии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7–915–973–63–13 E-mail: d.myagkonosov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4443-7573 * автор для контактов	
Dmitry V. Abramov , Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Head of Biochemical Research in Cheesemaking and Buttermaking, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7–910–970–42–97 E-mail: d.abramov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8326-1932		Абрамов Дмитрий Васильевич — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, руководитель направления биохимических исследований по сыроделию и маслоделию, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7–910–970–42–97 E-mail: d.abramov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8326-1932	
Irina N. Delitskaya , Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Department of Cheesemaking, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7–48532–98–1–28 E-mail: i.delitskaya@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3587-4050		Делицкая Ирина Николаевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, отдел сыроделия, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7–48532–98–1–28 E-mail: i.delitskaya@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3587-4050	
Galina B. Bukcharina , Junior Researcher, Department of Physical Biochemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7–48532–98–1–22 E-mail: g.bukcharina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4061-363X		Бухарина Галина Борисовна — младший научный сотрудник, отдел физической химии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7–48532–98–1–22 E-mail: g.bukcharina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4061-363X	
Contribution		Критерии авторства	
Authors 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/10.21323/2618-9771-2022-5-3-249-260>

Поступила 09.09.2022

Поступила после рецензирования 20.09.2022

Принята в печать 26.09.2022

© Мистенева С. Ю., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЦЕЛЬНОГО ЗЕРНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Мистенева С. Ю.

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

мучные кондитерские изделия, печенье, цельное зерно, цельнозерновые продукты, пищевые волокна

АННОТАЦИЯ

Несбалансированные по составу пищевые продукты, входящие в рацион питания, являются одной из серьезных причин возникновения и развития неинфекционных заболеваний во всем мире. В настоящее время на государственном уровне поставлены задачи по расширению рынка продуктов, созданных на основе принципов здорового питания. Производство мучных кондитерских изделий, в частности печенья, является важной частью пищевой промышленности РФ. Традиционный ассортимент печенья и его существующая классификация по видам и группам имеет почти столетнюю историю, узнаваема и ценится всеми возрастными категориями. Большую часть рецептурного состава печенья составляет пшеничная мука высшего сорта — она обуславливает низкую пищевую ценность данной категории изделий. Направленное изменение рецептурного состава является эффективной стратегией оптимизации качества существующих продуктов питания. В этом случае основной задачей, стоящей перед производителем, становится преобразование нутриентного состава при одновременном сохранении структуры, вкуса и традиционности изделия. В работе рассмотрено актуальное направление совершенствования пищевых продуктов, в том числе мучных кондитерских изделий — введение в состав цельнозернового сырья, содержащего широкий спектр полезных для здоровья веществ: витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, в том числе бета-глюканов, фенольных кислот, токолов. Показано, что употребление цельного зерна и продуктов из него имеет клинически доказанную эффективность, сокращает риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний, диабета, рака. В работе представлены рекомендуемые уровни потребления цельного зерна и продуктов на его основе, нормы физиологических потребностей в пищевых волокнах для детского и взрослого населения РФ и разных стран мира, приведены данные по содержанию витаминов группы В, токоферолов, токотриенолов, пищевой и энергетической ценности некоторых цельнозерновых продуктов. Рассмотрены понятия «цельное зерно», «цельнозерновой продукт» и «продукт, содержащий цельнозерновое сырье». Изложены некоторые законодательные аспекты производства обогащенных изделий в РФ.

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 09.09.2022

Accepted in revised 20.09.2022

Accepted for publication 26.09.2022

© Misteneva S. Yu., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

PRODUCTS OF WHOLE GRAIN PROCESSING AND PROSPECTS OF THEIR USE IN PRODUCTION OF FLOUR CONFECTIONERY

Svetlana Yu. Misteneva

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

KEY WORDS:

bakery confectionery products, cookies, whole grain, whole grain products, dietary fibers

ABSTRACT

Food products unbalanced by their composition that are included in a diet are one of serious causes of the onset and development of noncommunicable diseases in the whole world. At present, the tasks of extending the market of products created on the healthy nutrition principles are set at the state level. Production of flour confectionery, in particular biscuits, is an important part of the Russian food industry. The traditional assortment of biscuits and its existing classification by types and groups have almost one-hundred-year history, are recognizable and appreciated by all age categories. A large part of biscuits recipe composition is wheat flour of the highest grade. It conditions the low nutritional value of this product category. A targeted change in the recipe composition is an effective strategy for quality optimization of the existing food products. In this case, the main task facing producers is transformation of the nutrient composition with simultaneous maintenance of the structure, taste and traditionalism of a product. The paper examines the topical direction of food product improvement, including flour confectionery, namely, introduction into their composition of whole grain raw materials that contain

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мистенева, С. Ю. (2022). Продукты переработки цельного зерна и перспективы их использования при производстве мучных кондитерских изделий. *Пищевые системы*, 5(3), 249-260. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-249-260>

FOR CITATION: Misteneva, S. Yu. (2022). Products of whole grain processing and prospects of their use in production of flour confectionery. *Food Systems*, 5(3), 249-260. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-249-260>

a wide spectrum of wholesome substances: vitamins, minerals, dietary fibers, including beta-glucans, phenolic acids, tocopherols. It is shown that the use of whole grains and products made from them has a clinically proved effectiveness, reduces the risk of appearance of cardiovascular diseases, diabetes, cancer. The paper presents the recommended levels for consumption of whole grains and products based on them, norms of the physiological requirements in dietary fibers for children and adult population of the RF and different countries of the world, gives data on the content of B group vitamins, tocopherols, tocotrienols, nutritional and energy value of some whole grain products. The definitions of "whole grain", "whole grain food" and "food with whole grain ingredients" are considered. Several legislative aspects of production of enriched products in the RF are described.

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

1. Введение

Научно доказано, что основополагающую роль в укреплении здоровья населения по всему миру играет качество и сбалансированный нутриентный профиль пищевых продуктов. Доступ к разнообразному и здоровому питанию является ключевой необходимостью на протяжении всей жизни. Употребление неполноценных и несбалансированных по своему составу пищевых продуктов является одной из причин не только возникновения неинфекционных заболеваний, занимающих лидирующее место в структуре заболеваемости, но и причин смертности населения в большинстве регионов России. Низкое качество питания может являться фактором снижения настроения человека, а улучшение рациона оказывает положительное влияние на его психоэмоциональное состояние [1–4].

Оптимальный рацион питания индивидуален, он зависит от ряда факторов физиологического статуса, уровня физической активности, возраста, пола, наличия хронических заболеваний, но основные значимые направления формирования полезного рациона являются общими (Рисунок 1).



За последние годы модель питания людей претерпела существенные изменения. Рацион сместился в сторону потребления продуктов глубокой технологической переработки со сниженным содержанием значимых для здоровья питательных веществ. Одними из самых доступных и широко

продаваемых продуктов питания являются продукты с высокой энергетической плотностью, не обладающие оптимальным пищевым профилем. Во многих странах потребление пищевой соли (натрия), насыщенных жиров и добавленных сахаров значительно превышает рекомендуемые уровни. Чрезмерное потребление «нездоровых» продуктов питания сопровождается снижением в рационе питания продуктов с высоким содержанием питательных веществ, низкой энергетической ценностью, таких как бобовые, цельные семена и злаки, фрукты, овощи и т. д. [5–8].

Целью работы является анализ мировых исследований пищевого профиля продуктов переработки цельного зерна, обобщение рекомендуемых норм потребления пищевых волокон и обоснование использования цельнозернового сырья для модификации нутриентного состава мучных кондитерских изделий с учетом принципов здорового питания.

2. Объекты и методы

Объектами данного анализа являются научные исследования зарубежных и российских авторов в следующих областях: использование пищевых волокон, цельного зерна и продуктов его переработки в рационах питания; разработка принципов создания пищевых продуктов, в том числе мучных кондитерских изделий с полезным профилем питательных веществ; установление идентификационных критериев и терминологических понятий для продуктов с использованием цельного зерна. Поиск литературных источников осуществлялся в базах данных Google Scholar, PubMed, Scopus, Web of Science и eLibrary.ru

Информационной базой для исследования послужили аналитические материалы, справочные данные и результаты научных исследований, опубликованные на официальных сайтах Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека РФ, Департамента здравоохранения Правительства Австралии, Европейской комиссии Евросоюза, Министерства здравоохранения Канады, Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США, Совета по цельному зерну США, Аналитического агентства Франции Report Linker.

3. Результаты и обсуждение.

В соответствии с Федеральным законом «О качестве и безопасности пищевых продуктов»¹, основными принципами здорового питания являются правила и положения, способствующие укреплению здоровья человека и снижению риска развития заболеваний. Эти принципы предполагают наличие в составе ежедневного рациона продуктов со сниженным содержанием насыщенных жиров (включая трансизомеры жирных кислот), простых сахаров и поваренной соли, а также присутствие в рационе пищевых про-

¹ Федеральный закон «О качестве и безопасности пищевых продуктов» от 02.01.2000 N29-ФЗ Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/901751351> Дата обращения 26.08.2022

дуктов, обогащенных витаминами, пищевыми волокнами и биологически активными веществами. Приоритетную роль в концепции создания безопасных пищевых продуктов играет качество — совокупность характеристик, определяющих их потребительские свойства, пищевую ценность, аутентичность и закреплённых в технической документации производителя в соответствии с требованиями законодательства РФ.

Одной из эффективных стратегий оптимизации качества существующих продуктов питания, производимых различными отраслями пищевой промышленности, является изменение их рецептурного состава. В данном контексте изменение рецептуры определяется как действие, направленное на пересмотр ингредиентного состава традиционного промышленно выпускаемого пищевого продукта, предназначенного для ежедневного потребления, с основной целью улучшить его пищевой профиль. Изначально изменение рецептуры пищевых продуктов предполагало снижение критически значимых для здоровья человека веществ: добавленного сахара, насыщенных жирных кислот и соли. В последние несколько лет концепция изменения рецептуры стала рассматриваться как возможность совершенствования нутриентного профиля изделий за счет увеличения содержания полезных для здоровья ингредиентов: пищевых волокон, продуктов переработки цельного зерна, ненасыщенных жиров и т. п. Изменение рецептуры существующих пищевых продуктов является хорошей стратегией повышения их пищевой ценности и одним из путей удовлетворения потребностей населения в основных нутриентах [9–12].

В последние годы наметилась тенденция к увеличению доли мучной группы в общем объеме производства кондитерских изделий. Это обусловлено тем, что в рецептуры мучных кондитерских изделий входят сырьевые компоненты в основном отечественного производства, формирующие их приемлемую стоимость. Печенье относится к наиболее значимой группе мучных кондитерских изделий, пользующейся неизменно высоким спросом у потребителей (Рисунок 2).



В настоящее время печенье является актуальным и перспективным объектом для создания обогащенной пищевой продукции для различных возрастных категорий населения. Во многих странах проводятся исследования по включению печенья с модифицированным составом в рационы при лечебно-профилактических диетах, а также для коррекции

структуры питания при диабете, борьбе с ожирением, сердечно-сосудистыми заболеваниями, различными состояниями, вызванными недостатком питательных веществ. Рецептурный состав печенья поддается гибкому регулированию, что позволяет создавать на его основе сбалансированные пищевые продукты и открывает широкие возможности осуществления его направленной модификации [13–15].

Основным рецептурным компонентом всех традиционных видов печенья является мука пшеничная преимущественно высшего сорта, содержание которой в некоторых видах может достигать 80–90%. Производство данного сорта муки основано на многоступенчатой технологической обработке зерна пшеницы, вследствие чего продукт характеризуется более низким содержанием пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ, незаменимых жирных кислот и фитохимических веществ (Таблица 1) [16–18].

Таблица 1. Основные различия в химическом составе муки пшеничной цельнозерновой и рафинированной
Table 1. Main differences in the chemical composition of whole wheat flour and refined wheat flour

Основные компоненты	Мука из цельного зерна пшеницы	Рафинированная пшеничная мука
Отруби, %	14	< 0,1
Зародыш, %	2,5	< 0,1
Общее количество пищевых волокон, %	13	3
Нерастворимые пищевые волокна, %	11,5	1,9
Растворимые пищевые волокна, %	1,1	1,0
Белок, %	14	14
Жир, %	2,7	1,4
Крахмал и сахара, %	70	83
Минералы:		
Цинк, мкг/г	29	8
Железо, мкг/г	35	13
Селен, мкг/г	0,06	0,02
Магний, мг/г	1,38	0,22
Витамины:		
Витамин В ₆ , мг/г	7,5	1,4
Фолиевая кислота, мг/г	0,57	0,11
Фенольные соединения		
Феруловая кислота, мг ⁻² /г	5	0,4
Токотриенол, мкг/г	32,8	5,7

Клиническими исследованиями доказан приоритет введения физиологически значимых природных компонентов, витаминов, минеральных веществ и пищевых волокон в продукты промышленного производства за счет использования цельнозернового растительного сырья. Употребление цельнозерновых продуктов может снизить риск возникновения ряда заболеваний, включая ишемическую болезнь сердца, инсульт, сердечно-сосудистые заболевания, диабет [3,19–22].

Существует два пути введения продуктов переработки цельного зерна в рацион питания: в виде полноценного самостоятельного продукта (овсяная каша, коричневый рис и т. п.) или в качестве пищевых ингредиентов (например, цельнозерновая мука в мучных кондитерских изделиях или хлебе) [23].

Цельные зерна обеспечивают уникальные и эффективные профили биологически активных соединений (например, авенантрамидов в овсе), которые оказывают положительное влияние на здоровье человека. По сравнению с очищенными зернами, большинство цельных зерен содержат больше белка, пищевых волокон и более двенадцати витаминов и минеральных веществ (Таблица 2) [17,24].

Таблица 2. Пищевая и энергетическая ценность некоторых культур

Table 2. Nutrient composition and energy content of coarse grains

Вид зерна	Содержание, г/1 кг съедобной части					Энергетическая ценность, ккал/кг
	Белка	Общего жира	Углеводов	Пищевых волокон	Минеральных веществ	
Овес	168,9	69,0	662,7	106,0	11,9	3890
Ячмень	105,0	16,0	745,2	101,0	11,0	3450
Гречиха	126,2	31,0	705,9	100,0	14,7	3350
Маис	87,5	50,9	738,9	84,0	7,7	3640
Пшеница	74,9	12,7	425,3	11,0	5,0	2140

Помимо высокой пищевой ценности, растительные продукты из цельнозернового зерна содержат широкий спектр фитохимических веществ, которые оказывают биоактивное действие, способствующее укреплению здоровья и профилактике возникновения ряда заболеваний (Рисунок 3) [25,26].



Продукты из цельного зерна являются важными источниками водорастворимых витаминов группы В, которые содержатся главным образом в оболочке и зародыше. Витамины группы В в зернах злаков представлены тиамин, рибофлавином, ниацином, пантотеновой кислотой, пиридоксин, фолиевой кислотой (Таблица 3) [27].

Таблица 3. Содержание витаминов группы В в цельнозерновой муке некоторых культур, (мг/кг)

Table 3. Content of B group vitamins in whole grain flour of some crops (mg/kg)

Витамин	Пшеница	Рожь	Ячмень	Кукуруза	Овес	Рис	Гречка
Тиамин (В ₁)	3,9	3,3	1,6	3,3	4,2	0,7	3,9
Рибофлавин (В ₂)	0,8	1,1	0,7	1,1	1,2	0,3	1,0
Ниацин (В ₃)	56	17	55	57	8	14	35
Пантотеновая кислота (В ₅)	6,8	4,9	5	–	15	5,5	14,5
Пиридоксин (В ₆)	3,4	2,8	3	3,3	14,4	1,1	4,0
Фолиевая кислота (В ₉)	0,5	0,7	0,3	0,2	0,46	0,3	0,3

Зерновые продукты представляют собой второй по важности пищевой источник витамина Е после семян масличных культур и растительных масел и являются наиболее важным источником токотриенолов и токоферолов, обладающих антиоксидантными, нейропротекторными и антиканцерогенными свойствами и играющих важную физиологическую роль (Таблица 4) [28].

Таблица 4. Содержание токоферолов и токотриенолов в цельнозерновой муке некоторых культур, (мг/кг)

Table 4. Content of tocopherols and tocotrienols in whole grain flour of some crops (mg/kg)

Витамин	Пшеница	Рожь	Ячмень	Овес	Маис	Рис
α-токоферол	10	16	8,6	14,9	3,7	14,6
α-токотриенол	4	15	40,3	56,4	5,3	8,7
β-токоферол	7	4	0,9	3,0	0,2	1,0
β-токотриенол	28	8	8,7	5,4	0	0
γ-токоферол	0	0	5,6	0,4	45	1,3
γ-токотриенол	0	0	10,4	0	11,3	11,9
δ-токоферол	0	0	0,7	0	1,0	0,1
δ-токотриенол	0	0	0,9	0	0,4	0,5
Общие токолы	49	43	76,1	80,1	66,9	38,1

Основной класс фитохимических веществ цельного зерна представляют фенольные соединения: фенольные кислоты, флавоноиды, дубильные вещества, фитостеролы. Фенольные кислоты, благодаря своей антиоксидантной активности, обладают противовоспалительными, антиканцерогенными свойствами. Их действие направлено на профилактику диабета, сердечно-сосудистых заболеваний, ожирения, старения [29–32].

Разные страны формируют собственные рекомендации по потреблению цельного зерна или продуктов на его основе. Уполномоченные службы Правительства Канады рекомендуют заменить рафинированные продукты переработки зерна цельным зерном и употреблять его ежедневно. Диетические рекомендации США устанавливают оптимальный уровень потребления цельнозерновых продуктов не менее 85 г в день. Шведское национальное продовольственное агентство (SNFA) рекомендует ежедневное потребление около 70 г цельного зерна для женщин и 90 г для мужчин. В Норвегии и Дании ежедневное потребление продуктов из цельного зерна должно достигать 70–90 г и 75 грамм в день соответственно [33,34].

Цельнозерновые продукты рассматриваются как основные источники функциональных пищевых ингредиентов (в частности, пищевых волокон) при производстве обогащенных продуктов питания (Рисунок 4 и Рисунок 5) [34,35].

В соответствии с определением ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», пищевые волокна — углеводы, устойчивые к перевариванию и адсорбции в тонком кишечнике человека, полностью или частично ферментируемые в толстом кишечнике (полисахариды, олигосахариды, лигнин и ассоциированные растительные вещества) Пищевые волокна относятся к некрахмальным полисахаридам, которые перевариваются в толстом кишечнике в незначительной степени, однако при этом оказывают существенное влияние на процессы переваривания, усвоения, микробиоценоз и эвакуацию остатков пищи [35].

Согласно исследованию, проводимому в течение 11 лет, люди с общим потреблением пищевых волокон более 26 г в день на 18% сокращают риск развития диабета по сравнению с теми, кто употребляет менее 19 г пищевых волокон за этот же период времени. Результаты исследований связывают высокое потребление цельного зерна (210–225 г/день

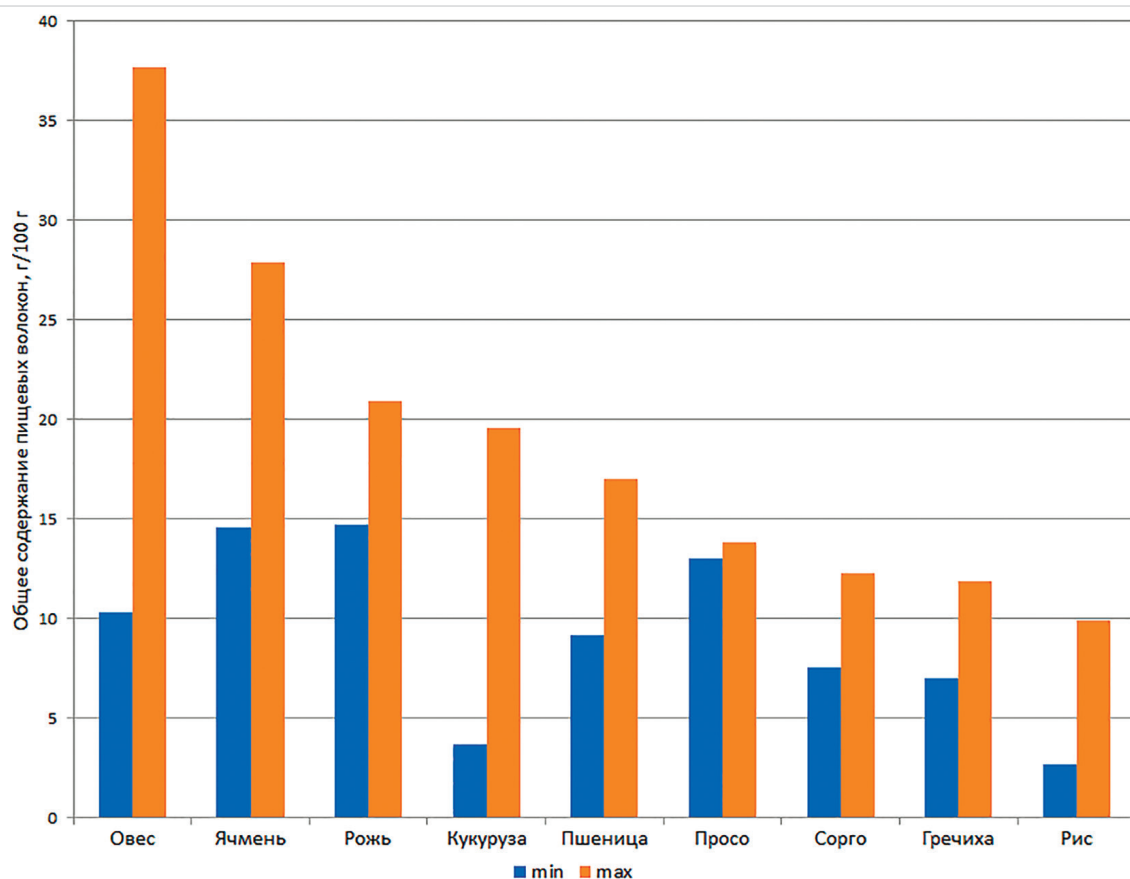


Рисунок 4. Общее содержание пищевых волокон в некоторых злаках и псевдозлаках
Figure 4. Total content of dietary fibers in some cereals and pseudocereals

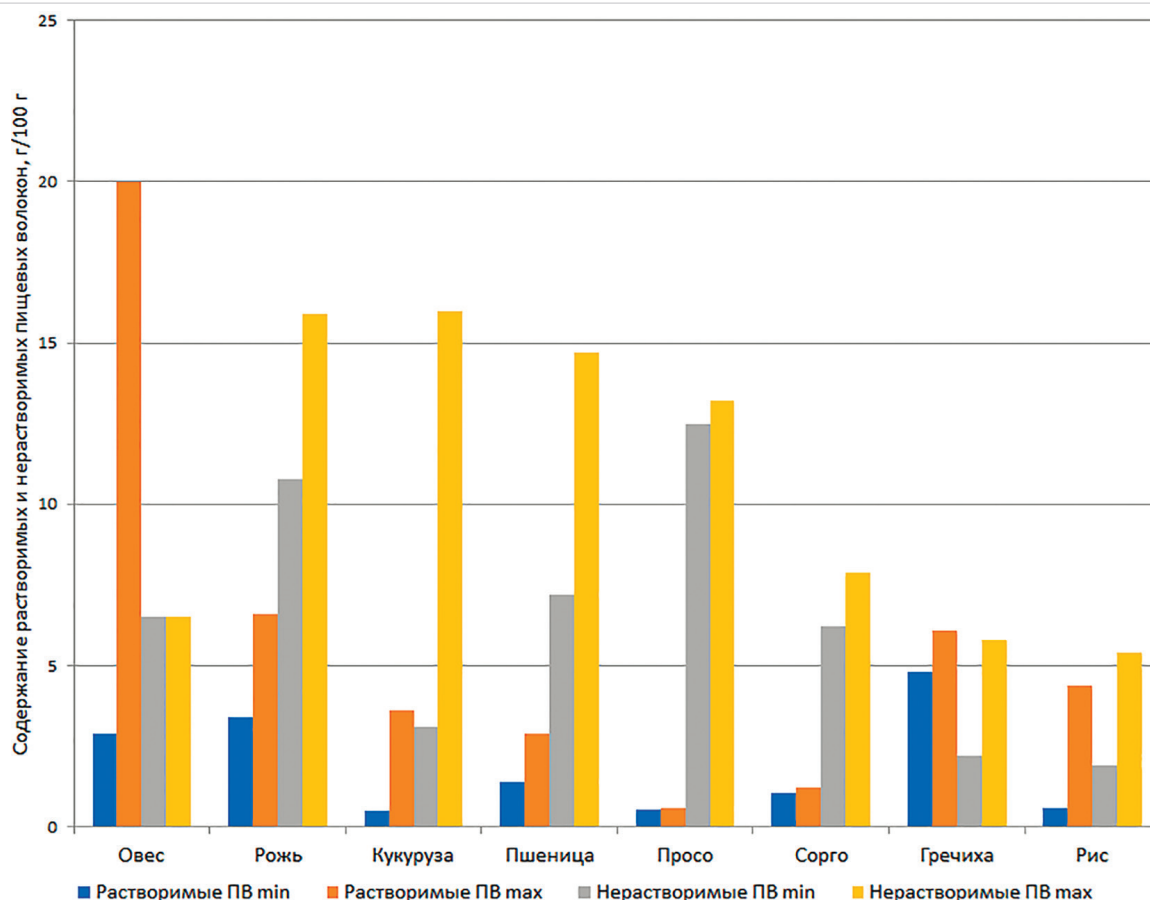


Рисунок 5. Содержание растворимых и нерастворимых пищевых волокон в некоторых злаках и псевдозлаках
Figure 5. Total content of soluble and insoluble dietary fibers in some cereals and pseudocereals

в качестве источника пищевых волокон) со снижением риска развития ишемической болезни сердца, диабета, инфекционных и респираторных заболеваний. Регулярное потребление зерновых волокон может снизить возникновение сердечно-сосудистых заболеваний, рака [36–39].

Нормы физиологических потребностей в пищевых волокнах в разных странах зависят от разных факторов, в том числе от пола и возраста (Таблица 5) [35,40–42].

Таблица 5. Нормы физиологических потребностей в пищевых волокнах детского и взрослого населения

Table 5. Norms of physiological requirements in dietary fibers for children and adult population

Возраст/пол	Нормы потребления пищевых волокон в сутки, г			
	РФ. МР 2.3.1.0253–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ»	Европейское агентство по безопасности пищевой продукции (EFSA)	США. Диетические рекомендации для граждан 2020–2025 гг. Департамент сельского хозяйства США (USDA)	КАНАДА. Референсные значения для макронутриентов (Government of Canada)
2–3 года (девочки/мальчики)	—	2–3 года — 10	14	19
3–6 лет (девочки/мальчики)	12	4–6 лет — 14	3 года — 14 4–6 лет — 17/20	3 года — 19 4–6 лет — 25/25
4–8 лет (девочки/мальчики)	—	—	17/20	25
7–10 лет (девочки/мальчики)	16	16	7–8 лет — 17/20 9–10 лет — 22/25	7–8 лет — 25 9–10 лет — 26/31
9–13 лет (девочки/мальчики)	—	—	22/25	26/31
11–14 лет (девочки/мальчики)	20	19	11–13 лет — 22/25 14 лет — 25/31	11–13 лет — 26/31 14 лет — 25/38
14–18 лет (девочки/мальчики)	—	—	25/31	25/38
15–17 лет (девочки/мальчики)	22	21	15–17 лет — 25/31	15–17 лет — 25/38
Женщины и мужчины	20–25	25	—	женщины — 21 мужчины — 30
19–30 лет (женщины/мужчины)	—	—	28/34	—
31–50 лет (женщины/мужчины)	—	—	25/31	—
51+ (женщины/мужчины)	—	—	22/28	—

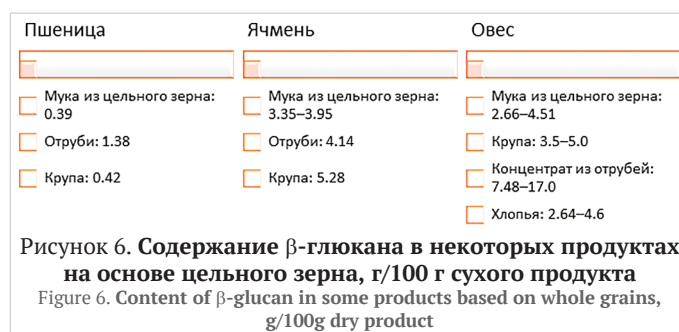
Несмотря на то, что уровень потребления пищевых волокон является важной частью диетических руководств и правил в разных странах мира, подавляющее большинство населения потребляет пищевые волокна в недостаточном количестве. В РФ суточная потребность населения в пищевых волокнах практически во всех регионах удовлетворяется лишь на $\frac{1}{3}$. Одной из причин такого дефицита выступает тот факт, что большинство промышленно выпускаемых изделий на основе злаковых (хлебобулочные, мучные кондитерские изделия) не являются полноценными источниками пищевых волокон [43].

При обогащении продукции пищевыми волокнами необходимо учитывать их способность изменять биодоступность

витаминов. Результаты исследований свидетельствуют, что размер частиц пищевых волокон может оказывать влияние на биодоступность витаминов группы В, в частности, тиамина и рибофлавина, ниацина и пиридоксина. Различные типы пищевых волокон (гемицеллюлоза, лигнин и пектин) снижают биодоступность β -каротина. Также имеются данные о том, что пищевые волокна обладают способностью связывать минеральные вещества, зависящей от типа волокна, его концентрации, pH среды [44].

Перспективным сырьем для создания мучных кондитерских изделий функциональной направленности являются продукты переработки овса и ячменя — мука из цельного зерна, хлопья, толокно и т. п. Ежегодно в мире выращивается от 25 до 20 млн тонн овса и около 140 млн тонн ячменя. Крупнейшим производителем данных культур является Российская Федерация. Примерно 65% урожая ячменя используется в качестве корма для животных, около 30% — для производства солода и в пивоварении, и только 2–3% — для производства пищевых продуктов. Однако, благодаря ценному пищевому профилю ячменя, интерес к данной зерновой культуре как к части рациона питания значительно возрос по всему миру [45,46].

Овес и ячмень обычно перерабатываются как цельное зерно, и в них особенно много водорастворимых пищевых волокон, называемых β -глюканами (Рисунок 6) [47].



Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) признало эффективность овсяного и ячменного β -глюкана в снижении риска развития ишемической болезни сердца. Потребление не менее 3 г β -глюкана овса в день эффективно для сокращения уровня липопротеинов низкой плотности. Появляется все больше свидетельств того, что потребление продуктов переработки овса, по сравнению с аналогичными продуктами из пшеницы, снижает гликемический ответ. Клинически доказано, что употребление не менее 4 г β -глюканов из овса или ячменя на 30 г доступных углеводов способствует снижению уровня глюкозы в крови. Кроме того, β -глюкан из овса способен стимулировать рост некоторых пробиотических бактерий, таких как *Bifidobacterium* и *Lactobacillus rhamosus*. Он также проявляет противомикробное действие в отношении *E. coli* и *B. subtilis* [23,48–52].

Химический состав овса характеризуется относительно высоким содержанием липидов (5,2–9,4%) по сравнению с пшеницей (2,1–3,8%), рисом (2,0–3,1%), просом (4,0–5,5%), ячменем (3,3–4,6%) и рожью (2,0–3,5%). Основные свободные жирные кислоты овса представлены насыщенной пальмитиновой (16–22%), ненасыщенной олеиновой (28–40%) и ненасыщенной линолевой (36–46%). Высокое содержание фосфолипидов ($\geq 20\%$) в жировой фракции овса отличает его от других масличных культур. Овес содержит до 15% белка, более высокий уровень глобулина и более низкий уровень проламина в белке овса по сравнению с пшеницей обеспечивает гораздо лучший баланс незаменимых аминокислот для человека. Ячмень является уникальным среди зерновых

злаков, поскольку он содержит все восемь форм витамина Е. Ячмень имеет в составе больше α -токотриенола, чем овес, пшеница или рожь. По сумме незаменимых аминокислот белок ячменя более биологически полноценен, чем белок зерна пшеницы. В белке зерна пшеницы содержание незаменимых аминокислот составляет 28,2, а в белке зерна ячменя — 30,56 г/100 г белка. Белок ячменя наиболее отличается по треонину (2,9 и 3,8 г/100 г белка) и лизину (2,3 и 3,4 г/100 г белка) [53–55].

В настоящее время понятия «цельное зерно» и «цельнозерновой продукт» не имеют единого определения, что создает определенные трудности для производителей и потребителей. В 1999 году Американская ассоциация зерновых химиков (AACC) определила цельное зерно как неповрежденную, измельченную, дробленую или расплюснутую в хлопья зерновку, в которой основные части (эндосперм, зародыш и отруби) сохранены в тех же пропорциях, что и в целом зерне. К данному понятию также относят псевдозлаки (гречку, амарант, киноа), поскольку они схожи по составу макроэлементов с зерновыми. Орехи и бобовые, несмотря на их высокую пищевую ценность, не включены в данную категорию сырья. Продовольственные стандарты Австралии и Новой Зеландии (FSANZ) используют аналогичное определение цельного зерна [56–58].

В 2004 году Совет по цельному зерну США (WGC) дал схожее определение: «Цельные зерна или продукты, изготовленные из них, должны содержать все основные части и нативные нутриенты целого зерна. При переработке зерна (дроблении, измельчении, плющении, экструдировании и/или кулинарной обработке) готовый пищевой продукт должен обеспечивать такой же баланс питательных веществ, который содержится в исходном зерне». Это определение включает следующие злаки и псевдозлаки: амарант, ячмень, гречиху, кукурузу, просо, овес, киноа, рис, рожь, сорго, тритикале, пшеницу и ее разновидности и некоторые другие. Семени масличных культур и бобовые (такие, как лен, чиа, подсолнечник, соя, нут и т. д.) не считаются цельными зёрнами [59].

В Европейском Союзе не существует законодательно утвержденного определения цельного зерна и продуктов питания из него. В связи с этим в Регламенте ЕС № 1308/2013 по общему европейскому регулированию сельскохозяйственных рынков в заключении по потенциальному влиянию цельного зерна на здоровье человека используется термин, предложенный Американской ассоциацией зерновых химиков [60].

Шведское национальное продовольственное агентство определяет цельное зерно как целое ядро злаковой зерновки, которое может быть неразрушенным, измельченным и т. п., при этом все составные части должны присутствовать в их первоначальных пропорциях, характерных для конкретного типа злаков. К ним относятся все виды пшеницы, рожь, овес, ячмень, кукурузу, рис, просо, сорго [61].

В соответствии с требованиями Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA), продукт имеет право позиционироваться и заявляться как цельнозерновой, если в его составе содержится не менее 51% сырья из цельного зерна. При этом учитывается количество продукта, употребляемого за один прием пищи (RACC). Например, цельнозерновая пшеничная мука содержит 11 г пищевых волокон на 100 г; таким образом, количество пищевых волокон, необходимое для того, чтобы пищевой продукт был определен как цельнозерновой, может быть рассчитано по следующей формуле: $11 \text{ г} \times 51\% \times \text{RACC}/100$ [23].

В Великобритании цельнозерновые продукты должны содержать $\geq 51\%$ цельнозернового сырья в натуре, тогда как в Швеции и Дании требование составляет $\geq 50\%$ цельнозер-

новых ингредиентов в пересчете на сухое вещество. В Нидерландах 100% муки должно быть изготовлено из цельного зерна, чтобы хлеб маркировался как 100% цельнозерновой. В Германии цельнозерновой хлеб должен состоять на 90% из цельного зерна [61].

В 2021 году Всемирная организация «Инициатива по цельному зерну» (WGI), в состав которой входят более 50 организаций-членов, в том числе Ассоциация зерновых культур (C&G), Международная ассоциация по науке и технологии зерна (ICC), закрепила понятия, призванные помочь определять и классифицировать данную группу изделий: «цельнозерновой продукт» и «продукт, содержащий цельнозерновое сырье». По мнению WGI, цельнозерновой продукт — это продукт в составе которого присутствует не менее 50% цельнозернового сырья в пересчете на сухое вещество. Продукт, содержащий не менее 25% цельнозернового сырья в пересчете на сухое вещество, может позиционироваться как содержащий цельнозерновое сырье с возможностью вынесения данной информации на этикетку продукта в качестве отличительного признака, но без упоминания в названии продукта «цельнозерновой». В маркировке цельнозерновых продуктов и продуктов, содержащих цельнозерновое сырье, рекомендуется указывать его процентное содержание, чтобы обеспечить потребителю возможность сравнивать изделия внутри группы и осуществлять осознанный выбор [62].

На сегодняшний день в России нет единой классификации, позволяющей регулировать рынок мультизерновых, цельнозерновых и зерновых хлебобулочных и мучных кондитерских изделий.

В 2019 году специалистами Роскачества совместно с Научно-исследовательским институтом хлебопекарной промышленности (НИИХП) впервые разработан проект стандарта «Российская система качества. Изделия хлебобулочные с добавлением зерна и продуктов его переработки. Потребительские испытания», в соответствии с которым предлагается разделить понятия «мультизерновой», «зерновой» и «цельнозерновой».

- ❑ мультизерновой хлеб: содержит три и более видов зерна и продуктов его переработки (кроме пшеничной и ржаной муки);
- ❑ зерновой хлеб: содержит не более двух видов зерна и продуктов его переработки (кроме пшеничной и ржаной муки);
- ❑ хлеб из цельнозерновой муки: содержит цельнозерновую и/или обойную муку [63].

Разрабатывая стандарт, специалисты НИИХП ориентировались на требования к зерновому хлебу в Германии, Австрии и Франции. Предполагалось, что создание единой классификации будет способствовать развитию здоровой конкуренции на рынке и усложнит выпуск на рынок продукции, мимикрирующей под полезную, но фактически такой не являющейся. В кондитерской промышленности понятия «мультизерновое печенье» (галеты, крекер), «зерновое печенье» и «цельнозерновое» также не регламентированы.

В настоящее время наблюдается тенденция к смещению интересов потребителей в сторону пищевых продуктов, отличительными признаками которых является присутствие в составе обогащающих веществ. Исследования развития рынка сельскохозяйственной продукции показывают, что в условиях кризиса COVID-19 мировой рынок продуктов из цельного зерна и продуктов с высоким содержанием клетчатки, оцениваемый в 38,9 миллиарда долларов США в 2020 году, развивается динамично и по прогнозам достигнет размера в 60,4 миллиарда долларов США к 2027 году [64,65].

Информация о полезных свойствах продуктов становится мощным маркетинговым инструментом, существенно влияющим на выбор покупателей. Во всем мире существуют опасения, что с употреблением данной категории продуктов в рационе питания может увеличиться и количество нежелательных для здоровья веществ (добавленного сахара, жира, соли). Для устранения подобных потенциально нежелательных последствий в ЕС (Регламент No 1924/2006 о заявлениях о пищевой ценности и полезности для здоровья, указываемых на этикетках продуктов питания [66]) введено понятие «профиль питательных веществ» как критерий для установления того, может ли определенный продукт питания применяться в качестве объекта обогащения рациона. Составление профиля питательных веществ основано на определении в изделии двух групп веществ с различным физиологическим эффектом и на количественном анализе их соотношения. В одну группу включают критически значимые вещества: добавленный сахар, общий жир, насыщенные жиры, соль, натрий; во вторую — поли- и мононенасыщенные жиры, витамины, минеральные вещества, белок, пищевые волокна. При определении профиля питательных веществ учитывают категорию продукта и его место в общем рационе питания [66].

Так, в соответствии с Регламентом ЕС No 1924/2006 [66], пищевые продукты, отличительными признаками которых является наличие в составе пищевых волокон, дифференцируются либо на 100 г продукта, либо на 100 ккал следующим образом:

- ❑ источник пищевых волокон (source of fibre) — продукт, содержащий не менее 3 г пищевых волокон на 100 г или не менее 1,5 г пищевых волокон на 100 ккал;
- ❑ высокое содержание пищевых волокон (high fibre) — содержание в продукте не менее 6 г пищевых волокон на 100 г или не менее 3 г пищевых волокон на 100 ккал.

В соответствии с Российским законодательством при регламентации полезных свойств продукта его калорийность не учитывается. Так, согласно требованиям ТР ТС 022/2011², для вынесения информации о содержании пищевых волокон должны удовлетворяться следующие условия:

- ❑ для источника пищевых волокон: содержание пищевых волокон не менее 3 г на 100 г для твердой пищевой продукции или для жидкостей не менее 1,5 г на 100 мл;
- ❑ при высоком содержании пищевых волокон: содержание пищевых волокон не менее 6 г на 100 г для твердой пищевой продукции или для жидкостей не менее 3 г на 100 мл.

Поскольку мучные кондитерские изделия являются калорийными продуктами с высокой энергетической ценностью, при создании ассортимента изделий с полезным профилем питательных веществ основополагающим аспек-

том должно являться использование научно обоснованных подходов к формированию их нутриентного состава [67,68]. Уплотнение рецептурного состава (введение цельнозернового сырья, пищевых волокон и т. п.) должно осуществляться параллельно со снижением количества критически значимых веществ (добавленный сахар, насыщенные жиры и соль), химически синтезированных пищевых добавок, ароматизаторов, красителей, химических разрыхлителей. В работах ВНИИ кондитерской промышленности показана актуальность изменения направлений исследований в области совершенствования мучных кондитерских изделий от задачи решить проблемы дефицита питательных веществ в рационе до необходимости решения комплекса задач, направленных на улучшение питания и здоровья потребителей. Институтом предложен инновационный подход к созданию мучных кондитерских изделий — комплексная фортификация их рецептурного состава. Главным принципом данного подхода является разработка мучных кондитерских изделий с улучшенным пищевым профилем за счет их моделирования с учетом принципов здорового питания и медико-биологических рекомендаций.

4. Выводы

Проведенный анализ показывает, что цельнозерновые продукты во всем мире рассматриваются как богатые источники эссенциальных макро- и микронутриентов, включение которых в ежедневный рацион питания позволит сократить риск возникновения и развития ряда серьезных заболеваний, играющих ключевую роль в снижении качества жизни и увеличении смертности населения. Показана целесообразность и актуальность проведения исследований по использованию цельнозернового сырья в качестве одного из основных компонентов при производстве мучных кондитерских изделий. Установлена перспективность комплексной фортификации рецептурного состава мучных кондитерских изделий, в частности печенья, путем использования цельнозернового сырья и снижения количества критически значимых веществ (добавленных сахаров, жира, соли). При этом данный способ не требует изменения технологического процесса производства и является экономически обоснованным. Изучен мировой опыт и показана необходимость создания в России единой классификации, позволяющей регулировать рынок мультисерновых, цельнозерновых и зерновых хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. Введение этой классификации поможет покупателю сделать обоснованный выбор и способствовать развитию здоровой конкуренции на рынке.

Проведение исследовательских работ в данном направлении должно лечь в основу создания мучных кондитерских изделий для персонализированного и специализированного питания, что позволит расширить рынок данной категории продуктов в соответствии с поставленными государственными задачами.

² ТР ТС 022/2011 Технический регламент Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки», утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 881 Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/902320347> Дата обращения 26.08.2022.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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>
2. Погожева, А. В., Смирнова, Е. А. (2020). К здоровью нации через многоуровневые образовательные программы для населения в области оптимального питания. *Вопросы питания*, 89(4), 262–272. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10060>
3. Cena, H., Calder, P. C. (2020). Defining a healthy diet: Evidence for the role of contemporary dietary patterns in health and disease. *Nutrients*, 12(2), Article 334. <https://doi.org/10.3390/nu12020334>
4. Firth, J., Gangwisch, J. E., Borisini, A., Wootton, R. E., Mayer, E. A. (2020). Food and mood: How do diet and nutrition affect mental wellbeing? *The BMJ*, 369, Article m2382, <https://doi.org/10.1136/bmj.m2382>
5. Hall, K. D., Kahan, S. (2018). Maintenance of lost weight and long-term management of obesity. *The Medical Clinics of North America*, 102(1), 183–197. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2017.08.012>
6. Poti, J. M., Braga, B., Qin, B. (2017). Ultra-processed food intake and obesity: What really matters for health-processing or nutrient content? *Current Obesity Reports*, 6(4), 420–431. <https://doi.org/10.1007/s13679-017-0285-4>
7. Pressler, M., Devinsky, J., Duster, M., Lee, J. H., Glick, C. S., Wiener, S. et al. (2022). Dietary transitions and health outcomes in four populations —

- Systematic review. *Frontiers in Nutrition*, 9, Article 748305. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.748305>
8. Partearroyo, T., Laja, A., Varela-Moreiras, G. (2019). Strengths and weaknesses of food and diet in the Spanish population of the 21st century. *Nutricion Hospitalaria*, 36(Ext1), Article 02685, 3–6. <https://doi.org/10.20960/nh.02685> (In Spanish)
 9. Raikos, V., Viren Ranawana, V. (2019). Reformulation as a strategy for developing healthier food products: Challenges, recent developments and future prospects. Springer Cham, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23621-2>
 10. Van Gunst, A., Roodenburg, A.J.C., Steenhuis, I.H.M. (2018). Reformulation as an integrated approach of four disciplines: A qualitative study with food companies. *Foods*, 7(4), Article 64. <https://doi.org/10.3390/foods7040064>
 11. Gressier, M., Sassi, F., Frost, G. (2020). Healthy foods and healthy diets. How government policies can steer food reformulation. *Nutrients*, 12(7), Article 1992. <https://doi.org/10.3390/nu12071992>
 12. Vergeer, L., Vanderlee, L., Sacks, G., Robinson, E., Mackay, S., Young, L. (2020). The development and application of a tool for quantifying the strength of voluntary actions and commitments of major Canadian food companies to improve the nutritional quality of their products. *Current Developments in Nutrition*, 4(10), Article nzaa151. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa151>
 13. Nogueira, A. D. C., Steel, C. J. (2018). Protein enrichment of biscuits: a review. *Food Reviews International*, 34(8), 796–809. <https://doi.org/10.1080/87559129.2018.1441299>
 14. Goubgou, M., Songré-Ouattara, L. T., Bationo, F., Lingani-Sawadogo, H., Traoré, Y., Savadogo, A. et al. (2021). Biscuits: a systematic review and meta-analysis of improving the nutritional quality and health benefits. *Food Production, Processing and Nutrition*, 3(1) Article 26. <https://doi.org/10.1186/s43014-021-00071-z>
 15. 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>
 16. Hamaker, B. R. (2007). Technology of functional cereal products. Woodhead Publishing, 2007.
 17. Jones, J. M., García, C. G., Braun, H. J. (2020). Perspective: Whole and refined grains and health — evidence supporting “make half your grains whole”. *Advances in Nutrition*, 11(3), 492–506. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz114>
 18. Taskinen, R. E., Hantunen, S., Tuomainen, T.-P., Virtanen, J. K. (2022). The associations between whole grain and refined grain intakes and serum C-reactive protein. *European Journal of Clinical Nutrition*, 76(4), 544–550. <https://doi.org/10.1038/s41430-021-00996-1>
 19. Swaminathan, S., Dehghan, M., Raj, J. M., Thomas, T., Rangarajan, S., Jenkins, D. et al. (2021). Associations of cereal grains intake with cardiovascular disease and mortality across 21 countries in Prospective Urban and Rural Epidemiology study: Prospective cohort study. *The BMJ*, 372, Article m4948. <https://doi.org/10.1136/bmj.m4948>
 20. Rico, D., Peñas, E., del Carmen García, M., Martínez-Villaluenga, C., Rai, D. K., Birsan, R. I. et al. (2020). Sprouted barley flour as a nutritious and functional ingredient. *Foods*, 9(3), Article 296. <https://doi.org/10.3390/foods9030296>
 21. Department of Health, State Government of Victoria, Australia. (2020). Cereals and wholegrain foods — Better Health Channel. Retrieved from <https://www.betterhealth.vic.gov.au/health/healthyliving/cereals-and-wholegrain-foods>. Accessed June 27, 2022.
 22. Seal, C. J., Courtin, C. M., Venema, K., de Vries, J. (2021). Health benefits of whole grain: effects on dietary carbohydrate quality, the gut microbiome, and consequences of processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(3), 2742–2768. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12728>
 23. Johnson, J., Wallace, T. (2019). Whole Grains and their Bioactives: Composition and Health. John Wiley & Sons Ltd, 2019. <https://doi.org/10.1002/9781119129486>
 24. Papanikolaou, Y., Slavin, J. L., Clemens, R., Thomas Brenna, J., Hayes, D., Gaesser, G. A. et al. (2020). Do refined grains have a place in a healthy dietary pattern: Perspectives from an expert panel consensus meeting. *Current Developments in Nutrition*, 4(10), Article nzaa125. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa125>
 25. Amiot, M.-J., Latgé, C., Plumey, L., Raynal, S. (2021). Intake estimation of phytochemicals in a French well-balanced diet. *Nutrients*, 13(10), Article 3628. <https://doi.org/10.3390/nu13103628>
 26. Khan, J., Khan, M. Z., Ma, Y., Meng, Y., Mushtaq, A., Shen, Q. et al. (2022). Overview of the composition of whole grains’ phenolic acids and dietary fibre and their effect on chronic non-communicable diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), Article 3042. <https://doi.org/10.3390/ijerph19053042>
 27. Garg, M., Sharma, A., Vats, S., Tiwari, V., Kumari, A., Mishra, V. et al. (2021). Vitamins in cereals: A critical review of content, health effects, processing losses, bioaccessibility, fortification, and biofortification strategies for their improvement. *Frontiers in Nutrition*, 8, Article 586815. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.586815>
 28. Jordão, K. S. L. U., Assumpção, D., Barros, M. B. A., Barros Filho, A. A. (2020). Vitamin E intake and food sources in adolescent diet: A cross-sectional population-based study. *Revista paulista de pediatria: orgao oficial da Sociedade de Pediatria de Sao Paulo*, 39, Article e2019295. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2021/39/2019295> (In Spanish)
 29. Călinoiu, L. F., Vodnar, D. C. (2018). Whole grains and phenolic acids: A review on bioactivity, functionality, health benefits and bioavailability. *Nutrients*, 10(11), Article 1615. <https://doi.org/10.3390/nu10111615>
 30. Kumar, N., Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 24, Article e00370. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370>
 31. Fărcaș, A., Drețcanu, G., Pop, T. D., Enaru, B., Socaci, S., Diaconeasa, Z. (2021). Cereal processing by-products as rich sources of phenolic compounds and their potential bioactivities. *Nutrients*, 13(11), Article 3934. <https://doi.org/10.3390/nu13113934>
 32. Zili, S. (2016). Phenolic compounds of wheat their content, antioxidant capacity and bioaccessibility. *Food Processing and Technology*, 2(3), 85–89. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2016.02.00037>
 33. European Union. European Commission. Dietary recommendations for whole grain intake as described by food- and health-related organizations. Retrieved from https://knowledge4policy.ec.europa.eu/health-promotion-knowledge-gateway/whole-grain-dietary-recommendations-4_en. Accessed June 27, 2022.
 34. Poutanen, K. S., Kärklund, A. O., Gómez-Gallego, C., Johansson, D. P., Scheers, N. M., Marklinder, I. M. et al. (2022). Grains — a major source of sustainable protein for health. *Nutrition Reviews*, 80(6), 1648–1663. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab084>
 35. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21 “Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации”. Электронный ресурс: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979. Дата обращения: 27.06.2022.
 36. Yu, E. Y. W., Wesselius, A., Mehrkanoon, S., Brinkman, M., Van Den Brandt, P., White, E. et al. (2020). Grain and dietary fiber intake and bladder cancer risk: A pooled analysis of prospective cohort studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, 112(5), 1252–1266. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa215>
 37. Aune, D., Keum, N., Giovannucci, E., Fadnes, L. T., Boffetta, P., Greenwood, D. C. et al. (2016). Whole grain consumption and risk of cardiovascular disease, cancer, and all cause and cause specific mortality: Systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *BMJ (Online)*, 353, Article i2716. <https://doi.org/10.1136/bmj.i2716>
 38. Abdullah, M., Hughes, J., Grafenauer, S. (2021). Whole grain intakes are associated with healthcare cost savings following reductions in risk of colorectal cancer and total cancer mortality in Australia: A cost-of-illness model. *Nutrients*, 13(9), Article 2982. <https://doi.org/10.3390/nu13092982>
 39. McRae, M. P. (2017). Dietary fiber is beneficial for the prevention of cardiovascular disease: An umbrella review of meta-analyses. *Journal of Chiropractic Medicine*, 16(4), 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2017.05.005>
 40. EFSA (European Food Safety Authority) (2017). Dietary Reference Values for nutrients. Summary Report. *EFSA supporting publication* 2017, Article e15121. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>
 41. Thompson, H. J. (2021). The dietary guidelines for Americans (2020–2025): Pulses, dietary fiber, and chronic disease risk — a call for clarity and action. *Nutrients*, 13(11), Article 4034. <https://doi.org/10.3390/nu13114034>
 42. Government of Canada. Dietary Reference Intakes. Retrieved from <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/healthy-eating/dietary-reference-intakes.html>. Accessed June 27, 2022.
 43. Пырьева, Е. А., Сафронова, А. И. (2019). Роль и место пищевых волокон в структуре питания населения. *Вопросы питания*, 88(6), 5–11. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059>
 44. Nirmala Prasad, V. P., Joye, I. J. (2020). Dietary fibre from whole grains and their benefits on metabolic health. *Nutrients*, 12(10), Article 3045. <https://doi.org/10.3390/nu12103045>
 45. Badea, A., Wijekoon, C. (2021). Benefits of Barley Grain in Animal and Human Diets. Chapter in a book: *Cereal Grains*. IntechOpen, 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97053>
 46. Shimizu, C., Wakita, Y., Kihara, M., Kobayashi, N., Tsuchiya, Y., Nabeshima, T. (2019). Association of lifelong intake of barley diet with healthy aging: Changes in physical and cognitive functions and intestinal microbiome in Senescence-Accelerated Mouse-Prone 8 (SAMP8). *Nutrients*, 11(8), Article 1770. <https://doi.org/10.3390/nu11081770>
 47. Boye, J. I. (2015). *Nutraceutical and Functional Food Processing Technology*. John Wiley & Sons Ltd, 2015. <https://doi.org/10.1002/9781118504956>
 48. Zieles, C., Kosik, O., Ainalem, M.-L., Lovegrove, A., Stradner, A., Nilsson, L. (2017). Characterization of cereal β-glucan extracts from oat and barley and quantification of proteinaceous matter. *PLoS ONE*, 12(2), Article e0172034. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172034>
 49. Joyce, S. A., Kamil, A., Fleige, L., Gahan, C. (2019). The cholesterol-lowering effect of oats and oat beta glucan: Modes of action and potential role of bile acids and the microbiome. *Frontiers in Nutrition*, 6, Article 171. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00171>
 50. Steinert, R. E., Raederstorff, D., Wolever, T. M. S. (2016). Effect of consuming oat bran mixed in water before a meal on glycemic responses in

- healthy humans — A pilot study. *Nutrients*, 8(9), Article 524. <https://doi.org/10.3390/nu8090524>
51. Rasane, P., Jha, A., Sabikhi, L., Kumar, A., Unnikrishnan, V. S. (2015). Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods — a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 662–75. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1072-1>
 52. Zurbau, A., Noronha, J. C., Khan, T. A., Sievenpiper, J. L., Wolever, T. M. S. (2021). The effect of oat β -glucan on postprandial blood glucose and insulin responses: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Clinical Nutrition*, 75(11), 1540–1554. <https://doi.org/10.1038/s41430-021-00875-9>
 53. Johnson, J., Wallace, T. (2019). Whole Grains and their Bioactives: Composition and Health. Wiley, 2019. <https://doi.org/10.1002/9781119129486>
 54. Mäkinen, O. E., Sözer, N., Ercili-Cura, D., Poutanen, K. (2016). Protein From Oat: Structure, Processes, Functionality, and Nutrition. Chapter in a book: Sustainable Protein Sources. Academic Press, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00006-8>
 55. Казаков, Е. Д., Карпиленко, Г. П. (2005). Биохимия зерна и хлебопродуктов. СПб.: ГИОРД, 2005.
 56. Frölisch, W., Aman, P. (2010). Whole grain for whom and why? *Food and Nutrition Research*, 54, Article 5056. <https://doi.org/10.3402/fnr.v54i0.5056>
 57. van der Kamp, J. W., Poutanen, K., Seal, C. J., Richardson, D. P. (2014). The HEALTHGRAIN definition of “whole grain”. *Food and Nutrition Research*, 58, Article 22100. <https://doi.org/10.3402/fnr.v58.22100>
 58. Foster, S., Beck, E., Hughes, J., Grafenauer, S. (2020). Whole grains and consumer understanding: Investigating consumers’ identification, knowledge and attitudes to whole grains. *Nutrients*, 12(8), Article 2170. <https://doi.org/10.3390/nu12082170>
 59. Whole Grain Council. Definition of a whole grain. (2004) Retrieved from <https://wholegrainscouncil.org/definition-whole-grain>. Accessed June 27, 2022.
 60. European union. European commission. Knowledge for policy. Health promotion and disease prevention knowledge gateway. Whole grain. Retrieved from https://knowledge4policy.ec.europa.eu/health-promotion-knowledge-gateway/whole-grain_en Accessed June 27, 2022.
 61. European Union. European Commission. Definitions of whole grain. Retrieved from https://knowledge4policy.ec.europa.eu/health-promotion-knowledge-gateway/whole-grain_en?nav_Toc479239824 Accessed June 27, 2022
 62. van der Kamp, J. -W., Jones, J. M., Miller, K. B., Ross, A. B., Seal, C. J., Tan, B. et al. (2022). Consensus, global definitions of whole grain as a food ingredient and of whole-grain foods presented on behalf of the whole grain initiative. *Nutrients*, 14(1), Article 138. <https://doi.org/10.3390/nu14010138>
 63. Костюченко, М. Н. (30–31 октября 2019). Обеспечение населения России обогащенными и специализированными хлебо-булочными изделиями — стратегическая задача государства. Сборник докладов III Международной научно-практической конференции. Москва: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова, 2019.
 64. Pinto, V. R. A., Campos, R. F. D. A., Rocha, F., Emmendoerfer, M. L., Vidi-gal, M. C. T. R., da Rocha, S. J. S. S. (2021). Perceived healthiness of foods: A systematic review of qualitative studies. *Future Foods*, 4, Article 100056. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100056>
 65. Report Linker. (2022) Global Whole Grain and High Fiber Foods Industry. Retrieved from https://www.reportlinker.com/p05443578/Global-Whole-Grain-and-High-Fiber-Foods-Industry.html?utm_source=GNW. Accessed September 5, 2022.
 66. European Union. EUR-lex. Access to European Union law. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32006R1924>. Accessed September 5, 2022.
 67. Мистенева, С. Ю., Щербакова, Н. А., Зайцева, Л. В., Баскаков, А. В. (2022). Развитие направления комплексной фортификации мучных кондитерских изделий. *Пищевая промышленность*, 4, 47–52. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.4.4.013>
 68. Savenkova, T. V., Soldatova, E. A., Misteneva, S. Yu., Taleysnik, M. A. (2019). Technological properties of flour and their effect on quality indicators of sugar cookies. *Food Systems*, 2(2), 13–19. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-13-19>

REFERENCES

1. Smetneva, N. S., Pogozheva, A. V., Vasil'ev, Y. 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), 114–124. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10035> (In Russian)
2. Pogozheva, A. V., Smirnova, E. A. (2020). To the health of the nation through multi-level educational programs for the population in the field of optimal nutrition *Voprosy Pitaniia*, 89(4), 262–272. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10060>. (In Russian)
3. Cena, H., Calder, P. C. (2020). Defining a healthy diet: Evidence for the role of contemporary dietary patterns in health and disease. *Nutrients*, 12(2), Article 334. <https://doi.org/10.3390/nu12020334>
4. Firth, J., Gangwisch, J. E., Borisini, A., Wootton, R. E., Mayer, E. A. (2020). Food and mood: How do diet and nutrition affect mental wellbeing? *The BMJ*, 369, Article m2382, <https://doi.org/10.1136/bmj.m2382>
5. Hall, K. D., Kahan, S. (2018). Maintenance of lost weight and long-term management of obesity. *The Medical Clinics of North America*, 102(1), 183–197. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2017.08.012>
6. Poti, J. M., Braga, B., Qin, B. (2017). Ultra-processed food intake and obesity: What really matters for health-processing or nutrient content? *Current Obesity Reports*, 6(4), 420–431. <https://doi.org/10.1007/s13679-017-0285-4>
7. Pressler, M., Devinsky, J., Duster, M., Lee, J. H., Glick, C. S., Wiener, S. et al. (2022). Dietary transitions and health outcomes in four populations — Systematic review. *Frontiers in Nutrition*, 9, Article 748305. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.748305>
8. Partearroyo, T., Laja, A., Varela-Moreiras, G. (2019). Strengths and weaknesses of food and diet in the Spanish population of the 21st century. *Nutricion Hospitalaria*, 36(Ext1), Article 02685, 3–6. <https://doi.org/10.20960/nh.02685> (In Spanish)
9. Raikos, V., Viren Ranawana, V. (2019). Reformulation as a strategy for developing healthier food products: Challenges, recent developments and future prospects. Springer Cham, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23621-2>
10. Van Gunst, A., Roodenburg, A. J. C., Steenhuis, I.H.M. (2018). Reformulation as an integrated approach of four disciplines: A qualitative study with food companies. *Foods*, 7(4), Article 64. <https://doi.org/10.3390/foods7040064>
11. Gressier, M., Sassi, F., Frost, G. (2020). Healthy foods and healthy diets. How government policies can steer food reformulation. *Nutrients*, 12(7), Article 1992. <https://doi.org/10.3390/nu12071992>
12. Vergeer, L., Vanderlee, L., Sacks, G., Robinson, E., Mackay, S., Young, L. (2020). The development and application of a tool for quantifying the strength of voluntary actions and commitments of major Canadian food companies to improve the nutritional quality of their products. *Current Developments in Nutrition*, 4(10), Article nzaa151. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa151>
13. Nogueira, A. D. C., Steel, C. J. (2018). Protein enrichment of biscuits: a review. *Food Reviews International*, 34(8), 796–809. <https://doi.org/10.1080/87559129.2018.1441299>
14. Goubgou, M., Songré-Ouattara, L.T., Bationo, F., Lingani-Sawadogo, H., Traoré, Y., Savadogo, A. et al. (2021). Biscuits: a systematic review and meta-analysis of improving the nutritional quality and health benefits. *Food Production, Processing and Nutrition*, 3(1) Article 26. <https://doi.org/10.1186/s43014-021-00071-z>
15. 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>
16. Hamaker, B. R. (2007). Technology of functional cereal products. Woodhead Publishing, 2007.
17. Jones, J. M., García, C. G., Braun, H. J. (2020). Perspective: Whole and refined grains and health — evidence supporting “make half your grains whole”. *Advances in Nutrition*, 11(3), 492–506. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz114>
18. Taskinen, R. E., Hantunen, S., Tuomainen, T.-P., Virtanen, J. K. (2022). The associations between whole grain and refined grain intakes and serum C-reactive protein. *European Journal of Clinical Nutrition*, 76(4), 544–550. <https://doi.org/10.1038/s41430-021-00996-1>
19. Swaminathan, S., Dehghan, M., Raj, J. M., Thomas, T., Rangarajan, S., Jenkins, D. et al. (2021). Associations of cereal grains intake with cardiovascular disease and mortality across 21 countries in Prospective Urban and Rural Epidemiology study: Prospective cohort study. *The BMJ*, 372, Article m4948. <https://doi.org/10.1136/bmj.m4948>
20. Rico, D., Peñas, E., del Carmen García, M., Martínez-Villaluenga, C., Rai, D. K., Birsan, R. I. et al. (2020). Sprouted barley flour as a nutritious and functional ingredient. *Foods*, 9(3), Article 296. <https://doi.org/10.3390/foods9030296>
21. Department of Health, State Government of Victoria, Australia. (2020). Cereals and wholegrain foods — Better Health Channel. Retrieved from <https://www.betterhealth.vic.gov.au/health/healthyliving/cereals-and-wholegrain-foods>. Accessed June 27, 2022.
22. Seal, C. J., Courtin, C. M., Venema, K., de Vries, J. (2021). Health benefits of whole grain: effects on dietary carbohydrate quality, the gut microbiome, and consequences of processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(3), 2742–2768. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12728>
23. Johnson, J., Wallace, T. (2019). Whole Grains and their Bioactives: Composition and Health. John Wiley & Sons Ltd, 2019. <https://doi.org/10.1002/9781119129486>
24. Papanikolaou, Y., Slavin, J. L., Clemens, R., Thomas Brenna, J., Hayes, D., Gaesser, G. A. et al. (2020). Do refined grains have a place in a healthy dietary pattern: Perspectives from an expert panel consensus meeting. *Current Developments in Nutrition*, 4(10), Article nzaa125. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa125>
25. Amiot, M.-J., Latgé, C., Plumey, L., Raynal, S. (2021). Intake estimation of phytochemicals in a French well-balanced diet. *Nutrients*, 13(10), Article 3628. <https://doi.org/10.3390/nu13103628>

26. Khan, J., Khan, M. Z., Ma, Y., Meng, Y., Mushtaq, A., Shen, Q. et al. (2022). Overview of the composition of whole grains' phenolic acids and dietary fibre and their effect on chronic non-communicable diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), Article 3042. <https://doi.org/10.3390/ijerph19053042>
27. Garg, M., Sharma, A., Vats, S., Tiwari, V., Kumari, A., Mishra, V. et al. (2021). Vitamins in cereals: A critical review of content, health effects, processing losses, bioaccessibility, fortification, and biofortification strategies for their improvement. *Frontiers in Nutrition*, 8, Article 586815. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.586815>
28. Jordão, K. S. L. U., Assumpção, D., Barros, M. B. A., Barros Filho, A. A. (2020). Vitamin E intake and food sources in adolescent diet: A cross-sectional population-based study. *Revista paulista de pediatria: orgao oficial da Sociedade de Pediatria de São Paulo*, 39, Article e2019295. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2021/39/2019295> (In Spanish)
29. Čálinou, L. F., Vodnar, D. C. (2018). Whole grains and phenolic acids: A review on bioactivity, functionality, health benefits and bioavailability. *Nutrients*, 10(11), Article 1615. <https://doi.org/10.3390/nu10111615>
30. Kumar, N., Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 24, Article e00370. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370>
31. Fărcaș, A., Drețcanu, G., Pop, T. D., Enaru, B., Socaci, S., Diaconeasa, Z. (2021). Cereal processing by-products as rich sources of phenolic compounds and their potential bioactivities. *Nutrients*, 13(11), Article 3934. <https://doi.org/10.3390/nu13113934>
32. Zili, S. (2016). Phenolic compounds of wheat their content, antioxidant capacity and bioaccessibility. *Food Processing and Technology*, 2(3), 85–89. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2016.02.00037>
33. European Union. European Commission. Dietary recommendations for whole grain intake as described by food- and health-related organizations. Retrieved from https://knowledge4policy.ec.europa.eu/health-promotion-knowledge-gateway/whole-grain-dietary-recommendations-4_en. Accessed June 27, 2022.
34. Poutanen, K. S., Kärldund, A. O., Gómez-Gallego, C., Johansson, D. P., Scheers, N. M., Marklinder, I. M. et al. (2022). Grains — a major source of sustainable protein for health. *Nutrition Reviews*, 80(6), 1648–1663. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab084>
35. Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing. Guidelines MR2.3.1.0253–21 “Norms of physiological requirements in energy and nutrients in various groups of population in Russian Federation”. Retrieved from https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979. Accessed June 27, 2022.
36. Yu, E. Y. W., Wesselius, A., Mehrkanoo, S., Brinkman, M., Van Den Brandt, P., White, E. et al. (2020). Grain and dietary fiber intake and bladder cancer risk: A pooled analysis of prospective cohort studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, 112(5), 1252–1266. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa215>
37. Aune, D., Keum, N., Giovannucci, E., Fadnes, L. T., Boffetta, P., Greenwood, D. C. et al. (2016). Whole grain consumption and risk of cardiovascular disease, cancer, and all cause and cause specific mortality: Systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *BMJ (Online)*, 353, Article i2716. <https://doi.org/10.1136/bmj.i2716>
38. Abdullah, M., Hughes, J., Grafenauer, S. (2021). Whole grain intakes are associated with healthcare cost savings following reductions in risk of colorectal cancer and total cancer mortality in Australia: A cost-of-illness model. *Nutrients*, 13(9), Article 2982. <https://doi.org/10.3390/nu13092982>
39. McRae, M. P. (2017). Dietary fiber is beneficial for the prevention of cardiovascular disease: An umbrella review of meta-analyses. *Journal of Chiropractic Medicine*, 16(4), 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2017.05.005>
40. EFSA (European Food Safety Authority) (2017). Dietary Reference Values for nutrients. Summary Report. *EFSA supporting publication* 2017, Article e15121. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>
41. Thompson, H. J. (2021). The dietary guidelines for Americans (2020–2025): Pulses, dietary fiber, and chronic disease risk — a call for clarity and action. *Nutrients*, 13(11), Article 4034. <https://doi.org/10.3390/nu13114034>
42. Government of Canada. Dietary Reference Intakes. Retrieved from <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/healthy-eating/dietary-reference-intakes.html>. Accessed June 27, 2022.
43. Pyryeva, E. A., Safronova, A. I. (2019). The role of dietary fibers in the nutrition of the population. *Voprosy Pitaniia*, 88(6), 5–11. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059>. (In Russian)
44. Nirmala Prasad, V. P., Joye, I. J. (2020). Dietary fibre from whole grains and their benefits on metabolic health. *Nutrients*, 12(10), Article 3045. <https://doi.org/10.3390/nu12103045>
45. Badea, A., Wijekoon, C. (2021). Benefits of Barley Grain in Animal and Human Diets. Chapter in a book: *Cereal Grains*. IntechOpen, 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97053>
46. Shimizu, C., Wakita, Y., Kihara, M., Kobayashi, N., Tsuchiya, Y., Nabeshima, T. (2019). Association of lifelong intake of barley diet with healthy aging: Changes in physical and cognitive functions and intestinal microbiome in Senescence-Accelerated Mouse-Prone 8 (SAMP8). *Nutrients*, 11(8), Article 1770. <https://doi.org/10.3390/nu11081770>
47. Boye, J. I., (2015). *Nutraceutical and Functional Food Processing Technology*. John Wiley & Sons Ltd, 2015. <https://doi.org/10.1002/9781118504956>
48. Zielke, C., Kosik, O., Ainalem, M. -L., Lovegrove, A., Stradner, A., Nilsson, L. (2017). Characterization of cereal β -glucan extracts from oat and barley and quantification of proteinaceous matter. *PLoS ONE*, 12(2), Article e0172034. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172034>
49. Joyce, S. A., Kamil, A., Fleige, L., Gahan, C. (2019). The cholesterol-lowering effect of oats and oat beta glucan: Modes of action and potential role of bile acids and the microbiome. *Frontiers in Nutrition*, 6, Article 171. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00171>
50. Steinert, R. E., Raederstorff, D., Wolever, T. M. S. (2016). Effect of consuming oat bran mixed in water before a meal on glycemic responses in healthy humans — A pilot study. *Nutrients*, 8(9), Article 524. <https://doi.org/10.3390/nu8090524>
51. Rasane, P., Jha, A., Sabikhi, L., Kumar, A., Unnikrishnan, V. S. (2015). Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods — a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 662–75. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1072-1>
52. Zurbau, A., Noronha, J. C., Khan, T. A., Sievenpiper, J. L., Wolever, T. M. S. (2021). The effect of oat β -glucan on postprandial blood glucose and insulin responses: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Clinical Nutrition*, 75(11), 1540–1554. <https://doi.org/10.1038/s41430-021-00875-9>
53. Johnson, J., Wallace, T. (2019). *Whole Grains and their Bioactives: Composition and Health*. Wiley, 2019. <https://doi.org/10.1002/9781119129486>
54. Mäkinen, O. E., Sözer, N., Ercili-Cura, D., Poutanen, K. (2016). Protein From Oat: Structure, Processes, Functionality, and Nutrition. Chapter in a book: *Sustainable Protein Sources*. Academic Press, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00006-8>
55. Kazakov, E. D., Karpilenco, G. P. (2005). *Biochemistry of grain and bakery products*. Saint-Petersburg: GIOR, 2005. (In Russian)
56. Fröllich, W., Aman, P. (2010). Whole grain for whom and why? *Food and Nutrition Research*, 54, Article 5056. <https://doi.org/10.3402/fnr.v54i0.5056>
57. van der Kamp, J. W., Poutanen, K., Seal, C. J., Richardson, D. P. (2014). The HEALTHGRAIN definition of “whole grain”. *Food and Nutrition Research*, 58, Article 22100. <https://doi.org/10.3402/fnr.v58.22100>
58. Foster, S., Beck, E., Hughes, J., Grafenauer, S. (2020). Whole grains and consumer understanding: Investigating consumers' identification, knowledge and attitudes to whole grains. *Nutrients*, 12(8), Article 2170. <https://doi.org/10.3390/nu12082170>
59. Whole Grain Council. Definition of a whole grain. (2004) Retrieved from <https://wholegrainscouncil.org/definition-whole-grain>. (Accessed June 27, 2022).
60. European union. European commission. Knowledge for policy. Health promotion and disease prevention knowledge gateway. Whole grain. Retrieved from https://knowledge4policy.ec.europa.eu/health-promotion-knowledge-gateway/whole-grain_en. Accessed June 27, 2022.
61. European Union. European Commission. Definitions of whole grain. Retrieved from https://knowledge4policy.ec.europa.eu/health-promotion-knowledge-gateway/whole-grain_en?nav_Toc479239824. Accessed June 27, 2022.
62. van der Kamp, J.-W., Jones, J. M., Miller, K. B., Ross, A. B., Seal, C. J., Tan, B. et al. (2022). Consensus, global definitions of whole grain as a food ingredient and of whole-grain foods presented on behalf of the whole grain initiative. *Nutrients*, 14(1), Article 138. <https://doi.org/10.3390/nu14010138>
63. Kostyuchenko, M. N. (October 30–31, 2019). *Providing the population of Russia with enriched and specialized bakery products is a strategic task of the state*. Collection of reports of the III International Scientific and Practical Conference. Moscow: V. M. Gorbakov Federal Research Center for Food Systems, 2019.
64. Pinto, V. R. A., Campos, R. F. D. A., Rocha, F., Emmendoerfer, M. L., Vidigal, M. C. T. R., da Rocha, S. J. S. S. (2021). Perceived healthiness of foods: A systematic review of qualitative studies. *Future Foods*, 4, Article 100056. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100056> (In Russian)
65. Report Linker. (2022) Global Whole Grain and High Fiber Foods Industry. Retrieved from https://www.reportlinker.com/p05443578/Global-Whole-Grain-and-High-Fiber-Foods-Industry.html?utm_source=GNW. Accessed September 5, 2022.
66. European Union. EUR-lex. Access to European Union law. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32006R1924>. Accessed September 5, 2022.
67. Misteneva, S. Yu., Shcherbakova, N.A., Zaytseva, L.V., Baskakov, A.V. (2022). Development main direction of complex fortification of baked confectionery products. *Food Industry*, 4, 47–52. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.4.4.013>. (In Russian)
68. Savenkova, T. V., Soldatova, E. A., Misteneva, S. Yu., Taleysnik, M. A. (2019). Technological properties of flour and their effect on quality indicators of sugar cookies. *Food Systems*, 2(2), 13–19. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-13-19>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Мистенева Светлана Юрьевна — научный сотрудник, Технологический отдел Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, 107023, ул. Электрозаводская, 20 стр. 3 Тел.: +7-495-962-17-35 E-mail: svetlana_mst@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1439-7972	Svetlana Yu. Misteneva , Researcher, Technology Department, All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry 20/3, Elektrozavodskaya str., 107023, Moscow, Russia Tel: +7-495-962-17-35 E-mail: svetlana_mst@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1439-7972
Критерии авторства	Contribution
Автор самостоятельно подготовил рукопись и несет ответственность за плагиат.	Completely prepared the manuscript and is responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.	The author declares no conflict of interest.

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-261-270>

Поступила 20.08.2022

Поступила после рецензирования 18.09.2022

Принята в печать 26.09.2022

© Бабич О. О., Ульрих Е. В., Ларина В. В., Бахтиярова А. Х., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЭКСТРАКТОВ *GLYCYRRHIZA GLABRA*, ВЫРАЩЕННОЙ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ, И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Бабич О. О.¹, Ульрих Е. В.^{2*}, Ларина В. В.¹, Бахтиярова А. Х.¹

¹ Балтийский федеральный университет им. И. Канта

² Калининградский государственный технический университет

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

glycyrrhiza glabra, солодка, антибактериальная, антиоксидантная активности, химический состав, биологически активные вещества, метанольный экстракт по соклету

АННОТАЦИЯ

Солодка научно известна как *Glycyrrhiza glabra*, она принадлежит к семейству бобовых. *Glycyrrhiza glabra* — лекарственное растение, которое встречается по всей Азии, а также в некоторых районах Европы. Целью настоящей работы было исследование химического состава и биологически активных свойств экстрактов *Glycyrrhiza glabra*, полученных различным способом. Установлено, что сырье *Glycyrrhiza glabra* (листья) содержит протеин, жир, клетчатку, золу: $9,844 \pm 0,29\%$, $2,284 \pm 0,06\%$, $20,377 \pm 0,61\%$ и $4,605 \pm 0,13\%$ соответственно. В сырье *Glycyrrhiza glabra* обнаружены минеральные компоненты Fe — $289,00 \pm 8,67$ мг/кг, Sr — $165,00 \pm 4,95$ мг/кг, Ca — $89,0 \pm 0,6$ мг/кг, Mn — $18,00 \pm 0,54$ мг/кг и Zn — $23,00 \pm 0,69$ мг/кг. Показано, что в сырье *Glycyrrhiza glabra* содержатся витамины: C — $121,75 \pm 3,62$ мг/кг, B2 — $49,59 \pm 1,48$ мг/кг и B6 $21,99 \pm 0,66$ мг/кг. Наибольший выход экстракта *Glycyrrhiza glabra*, $21,31 \pm 0,64$ масс.%, получили при использовании метода экстракции по Соклету с метанолом. В данных экстрактах *Glycyrrhiza glabra* идентифицировано наибольшее количество биологически активных веществ: 3,4-дигидроксibenзойная кислота, п-кумаровая кислота, лютеолин-7-глюкозид, акацетин, апигенин-7-О-глюкозид, цикориевая кислота и гесперетин. При использовании метода мацерации с использованием смеси растворителей метанол + NaOH идентифицирована розмариновая кислота, а в экстракте с использованием мацерации со смесью растворителей метанол + ТФУ обнаружен катехин в большом количестве. При воздействии экстрактов *Glycyrrhiza glabra* по методу Соклета с метанолом зоны задержки роста тест-микроорганизмов составили: $13,6 \pm 0,41$ мм для *Escherichia coli*, $10,8 \pm 0,32$ мм для *Pseudomonas aeruginosa*, $16,1 \pm 0,48$ мм для *Bacillus subtilis* и $13,2 \pm 0,39$ мм для *Candida albicans*. Антиоксидантная активность экстрактов *Glycyrrhiza glabra* по Соклету по методу ABTS составила наибольшее значение: $117,62 \pm 7,91$ мкмоль экв, тролокса/г, наименьшее — по методу FRAP: $23,91 \pm 1,12$ мкмоль экв, тролокса/г. Антиоксидантная активность экстрактов по методу DPPH имела промежуточное значение: $58,16 \pm 3,90$ мкмоль экв тролокса/г. Антибактериальная и антиоксидантная активность проявляется за счет полифенольных соединений и флавоноидов, содержащихся в метанольном экстракте *Glycyrrhiza glabra* по Соклету. Именно такой экстракт *Glycyrrhiza glabra* может стать естественной альтернативой существующей терапии для устранения антибактериальных заболеваний и возникающего за счет свободных радикалов раннего старения, окислительного стресса организма человека.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и Высшего образования Российской Федерации (грант Президента Российской Федерации, соглашение № 075–15–2021–310 от 19.04.2021 г. (внутренний номер МД-135.2021.1.4).

Received 20.08.2022

Accepted in revised 18.09.2022

Accepted for publication 26.09.2022

© Babich O. O., Ulrikh E. V., Larina V. V., Bakhtiyarova A. K., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

STUDY OF THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF EXTRACTS OF *GLYCYRRHIZA GLABRA* GROWN IN THE KALININGRAD REGION AND PROSPECTS OF ITS USE

Olga O. Babich¹, Elena V. Ulrikh^{2*}, Victoria V. Larina¹, Alina K. Bakhtiyarova¹

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

² Kaliningrad State Technical University

KEY WORDS:

Glycyrrhiza glabra, licorice, antibacterial, antioxidant activity, chemical composition, biologically active substances, Soxhlet methanol extract

ABSTRACT

Licorice is scientifically known as *Glycyrrhiza glabra*; it belongs to the legume family. *Glycyrrhiza glabra* is a medicinal herb found throughout Asia and in some European regions. The aim of the present work was to study the chemical composition and biologically active properties of *Glycyrrhiza glabra* extracts produced by different methods. It has been established that *Glycyrrhiza glabra* raw materials (leaves) contain protein, fat, fiber and ash: $9.844 \pm 0.29\%$, $2.284 \pm 0.06\%$, $20.377 \pm 0.61\%$ and $4.605 \pm 0.13\%$, respectively. In *Glycyrrhiza glabra* raw materials, mineral components were found, such as: Fe (289.00 ± 8.67 mg/kg), Sr (165.00 ± 4.95 mg/kg), Ca (89.0 ± 0.6 mg/kg), Mn (18.00 ± 0.54 mg/kg) and Zn (23.00 ± 0.69 mg/kg). It is shown that *Glycyrrhiza glabra* raw materials

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бабич, О. О., Ульрих, Е. В., Ларина В. В., Бахтиярова А. Х., (2022). Исследование состава и свойств экстрактов *Glycyrrhiza glabra*, выращенной в Калининградской области, и перспективы ее применения. *Пищевые системы*, 5(3), 261–270. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-261-270>

FOR CITATION: Babich, O. O., Ulrikh, E. V., Larina V. V., Bakhtiyarova, A. K., (2022). Study of the composition and properties of extracts of *Glycyrrhiza glabra* grown in the Kaliningrad region and prospects of its use. *Food Systems*, 5(3), 261–270. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-261-270>

contain vitamins: C (121.75 ± 3.62 mg/kg), B2 (49.59 ± 1.48 mg/kg) and B6 (21.99 ± 0.66 mg/kg). The highest yield of the *Glycyrrhiza glabra* extract (21.31 ± 0.64 mass%) was achieved when using the extraction method by Soxhlet with methanol. In these *Glycyrrhiza glabra* extracts, the highest amounts of biologically active substances were identified: 3,4-dihydroxybenzoic acid, p-coumaric acid, luteolin-7-glucoside, acacetin, apigenin-7-O-glucoside, chicoric acid and hesperetin. When using the maceration method with the mixture of solvents methanol+NaOH, rosmarinic acid was identified, while in the extract obtained using maceration with the mixture of solvents methanol+TFA, catechin was found in large quantities. Upon exposure to the *Glycyrrhiza glabra* extracts obtained by the Soxhlet method with methanol, the growth inhibition zones of test microorganisms were as follows: 13.6 ± 0.41 mm for *Escherichia coli*, 10.8 ± 0.32 mm for *Pseudomonas aeruginosa*, 16.1 ± 0.48 mm for *Bacillus subtilis* and 13.2 ± 0.39 mm for *Candida albicans*. The antioxidant activity of *Glycyrrhiza glabra* extracts obtained by the Soxhlet method was the highest in the ABTS method (117.62 ± 7.91 μ mol Trolox eq/g) and the lowest in the FRAP method (23.91 ± 1.12 μ mol Trolox eq/g). The antioxidant activity of the extracts in the DPPH method had the intermediate value: 58.16 ± 3.90 μ mol Trolox eq/g. The antibacterial and antioxidant activities were manifested due to the presence of polyphenolic compounds and flavonoids in the *Glycyrrhiza glabra* methanol extract obtained by the Soxhlet method. Such an extract of *Glycyrrhiza glabra* can be a natural alternative to the existing therapy to eliminate bacterial diseases and early aging and oxidative stress of the human body emerging because of free radicals.

FUNDING: The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant of the President of the Russian Federation, agreement No. 075–15–2021–310 dated 19.04.2021 (internal number MD-135.2021.1.4)).

1. Введение

Природа всегда была источником лечебных веществ, снабжая человека различными лекарственными растениями, производящими ценные фитохимические вещества. Солодка (*Glycyrrhiza glabra*), принадлежит к семейству бобовых [1]. Считается, что *G. glabra* возникла в Ираке [2]. *G. glabra*, наиболее широко распространенный вид, встречается в Италии, Испании, Турции, на Кавказе, в западном Китае и Центральной Азии. Другой вид растения, *G. uralensis*, встречается от Центральной Азии до Китая и Монголии [3]. Ее выращивают в Италии, Испании, Греции, Франции, Иране, Ираке, Турции, Туркменистане, Узбекистане, Сирии, Афганистане, Азербайджане, Индии, Китае, США и Англии [4,5]. Солодка является одним из наиболее коммерчески ценных растений в мире, имеющих широкий спектр применения в табачной, косметической, пищевой промышленности и фармацевтике [6]. Фитохимический и фармацевтический анализ солодки малоизучен [3,7–10]. В традиционной китайской медицине *G. glabra* считается «основным растительным лекарством». Согласно поверью традиционной китайской медицины, «девять из десяти формул лекарств содержат солодку», а *G. glabra* является одним из наиболее эффективных растительных лекарственных средств для снижения токсичности и повышения эффективности других растительных лекарственных средств при совместном использовании. *G. glabra* также может быть продуктом здорового питания и натуральным подсластителем, т. к. это растительное лекарственное средство с «пищевой гомологией» [11]. *G. glabra*, один из примерно 30 видов солодки, широко используется в кормах и продуктах питания [12]. Аминокислоты, белки, простые сахара, полисахариды, минеральные соли, пектин, крахмалы, стеролы, камеди и смолы содержатся в *G. glabra* [13].

Изоликирритигенин (2',4',4'-тригидроксисалкон, ISL), экстрагированный из корня *G. glabra*, имеет структуру халкона, которая проявляет сильный противораковый эффект. Глицирризин, глицирризиновая кислота, изоликирритин и глицирризиновая кислота являются другими основными химическими веществами в этом растении с антиатерогенными, противораковыми, антидиабетическими, противомикробными, спазмолитическими, противовоспалительными и противоастматическими свойствами [14]. Также было установлено, что *G. glabra* помогает при усталости и истощении. Кроме того, *G. glabra* действует как противовоспалительное средство, уменьшая аллергические реакции и предотвращая повреждение печени. По данным Всемирной организации здравоохранения, *G. glabra* используется как успокаивающее средство при ангине и как отхаркивающее

средство при астме и кашле [15]. До сих пор не было сообщений о потенциально токсичных соединениях из таксонов, которые были изучены. Однако признаются некоторые неблагоприятные последствия, такие как использование высоких доз в течение длительного периода, что приводит к серьезным заболеваниям. Тем не менее, растение можно применять в лечебных целях в небольших дозах при тяжелых заболеваниях, в этом случае побочных эффектов не наблюдается.

Судя по литературным данным, в последние годы *G. glabra* привлекает внимание многих исследователей, изучающих ее активные компоненты и механизм их действия. Флавоноиды *G. glabra* являются одним из экстрактов стебля и корня *G. glabra*, эти природные вещества показали многообещающую биологическую активность. Известно фармакологическое использование *G. glabra*, ее фитохимическая, биологическая активность, клинические данные и токсикология *G. glabra*, которые послужат источником для будущих клинических и фундаментальных исследований. Кроме того, основное внимание ученых уделяется молекулярному механизму действия экстрактов *G. glabra* и их четырем флавоноидам (изоликирритигенин, ликирритигенин, лихалокон и глабридин), а также их фармакологической активности. *G. glabra* может стать естественной альтернативой существующей терапии для устранения новых возникающих заболеваний. В данной работе будет описан химический состав и свойства этого древнего растения для дальнейшей разработки и клинического применения.

Целью данного исследования являлось изучение состава и свойств экстрактов *Glycyrrhiza glabra*, выращенной в Калининградской области, а также определение перспектив ее применения.

2. Объекты и методы

2.1. Реагенты

Все химические вещества (NaOH, трихлоруксусная кислота, метанол, этилацетат и сверхчистая вода), использованные в исследовании, были реагентами класса ACS (Sigma Aldrich, США). Все растворы были приготовлены с использованием очищенной деионизированной воды MilliQ (MilliporeSigma, США).

2.2. Сырье *G. glabra* для экстракции

Образцы были собраны в период июнь — август 2021 г. *G. glabra* (солодку) собирали вручную в п. Ягодное Калининградской области, затем растение высушивали и измельчали. Видовая принадлежность биоматериала была подтверждена

заведующим гербарием Института живых систем Балтийского федерального университета им. И. Канта А. Пунгиным (протокол № 13/2021). Для проведения анализа химического состава исследуемых образцов *G. glabra* использовали листья зрелых растений.

2.3. Определение химического состава растений *G. glabra*

В ходе исследований изучали химический состав. В качестве основных показателей, выбрали массовую долю сырого протеина, массовую долю клетчатки, массовую долю жира (сырой жир), массовую долю золы, целлюлозы, а также содержание витаминов, минеральных элементов и вторичных метаболитов фенольной природы (БАВ).

Определение содержания сырого жира проводили методом Сокслета. Навеску солодки массой 5 г тщательно измельчали и подсушивали при температуре 100–105 °С в сушильном шкафу Memmert UF30 (ООО «ДВ-Эксперт», Россия) в течение 2 ч. Патрон с навеской помещали в экстрактор Сокслета с приемной колбой и холодильником. В колбу предварительно наливали до 2/3 ее объема высушенного перегнанного серного эфира. В холодильник пускали воду и нагревали колбу с серным эфиром на водяной бане GFL 1002 (ООО «ДВ-Эксперт», Россия) с температурой воды не более 60 °С. Жир экстрагировали в течение 10–12 ч. После окончания экстракции остаток жира в колбе высушивали в сушильном шкафу Memmert UF30 до постоянной массы при температуре 100–105 °С и взвешивали.

Количество сырого жира в% (X) рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{(G - G_1) \cdot 100}{g} \quad (1),$$

где:

G — масса колбы с жиром, г;
 G_1 — масса пустой колбы, г;
 g — навеска солодки, г.

Метод определения содержания золы основан на полном сжигании органических веществ, удалении продуктов их сгорания и определении оставшейся минеральной составной части (золы) исследуемого материала. Для этого навеску солодки массой 5 г помещали в предварительно прокаленный до постоянной массы фарфоровый тигель, подсушивали при температуре 100–105 °С в сушильном шкафу Memmert UF30 в течение 2 ч. Озоление навески проводили в муфельной печи FPX-03 (ООО «ДВ-Эксперт», Москва, Россия) при температуре 300–400 °С, повышая ее к концу процесса озоления до 500 °С (начало темно-бурого каления). По окончании озоления тигель охлаждали в эксикаторе и взвешивали.

Содержание золы X (в %) рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 100}{m} \quad (2),$$

где:

m_2 — масса тигля с золой, г;
 m_1 — масса пустого тигля, г;
 m — масса солодки, г.

Для определения содержания сырого протеина в лекарственных растениях использовали метод Кьельдаля. Количество сырого протеина в образце на абсолютно сухое вещество (а. с. в.) определяли по методу Кьельдаля [16]. Метод основан на минерализации органических веществ серной кислотой в присутствии катализатора, в результате чего образуется сульфат аммония. Также этот метод базируется на разрушении сульфата аммония щелочью, из-за чего выделяется аммиак, и на последующей отгонке аммиака с парами воды в раствор серной или борной кислоты с титро-

ванием. На следующем этапе рассчитывали массовую долю азота и содержание сырого протеина (с умножением на коэффициент 6,25) [16].

Содержание клетчатки определяли путем кипячения продукта со слабыми кислотами и щелочами по методу Геннеберга-Штомана. Сущность его состоит в следующем. В стеклянную бюксу помещали фильтр, сложенный четверо (как для фильтрации), крышку устанавливали на ребро бюксы и ставили в сушильный шкаф Memmert UF30 на 1 ч при температуре 100–105 °С для подсушивания. В химический стакан помещали 4 г измельченного образца солодки, заливали 200 см³ раствора серной кислоты и кипятили 30 мин на электрической плитке ПЛП-03. По окончании кипячения проводили отмывку кислоты и щелочи, отсасывая жидкость из стакана на фильтр. Клетчатку на фильтре промывали по 2 раза 96%-м спиртом и эфиром, затем фильтр вместе с воронкой подсушивали в сушильном шкафу Memmert UF30, после чего фильтр с клетчаткой помещали в ту же бюксу и высушивали в сушильном шкафу Memmert UF30 при 100–105 °С до постоянной массы.

Содержание клетчатки (X, %) рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{b}{a} \cdot 100 \quad (3),$$

где:

b — масса сырой клетчатки (разница между постоянной массой бюксы с фильтром и клетчаткой и бюксы с фильтром), г;
 a — навеска солодки, взятой на анализ, г.

Для изучения химического состава все исследуемые образцы измельчали на лабораторной мельнице с металлическим стаканом ЛЗМ-М1/М2 (ООО «НВ-Лаб», Россия) до размера 0,1–0,3 см. Во избежание ошибок и минимизации погрешности каждый эксперимент повторяли три раза. В качестве результата эксперимента принимали среднее значение трех повторностей.

Определение содержания витаминов проводили методом электрофореза, основанным на миграции и разделении ионных форм водорастворимых витаминов под действием электрического поля вследствие их различной электрофоретической подвижности. Выявление массовой концентрации водорастворимых витаминов осуществляли при длине волны 200 нм с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-105» (ООО «Льюмэкс-маркетинг», Россия).

2.4. Получение экстрактов *G. glabra*

С целью анализа содержания вторичных метаболитов фенольной природы на первом этапе проводили подбор параметров экстракции по методу Сокслета. Для этого проводили экстракцию при различных значениях pH и с применением различных органических экстрагентов (метанол, метанол в кислой среде, метанол в щелочной среде). Для создания кислой среды использовали трифторуксусную (ТФУ) и муравьиную кислоты, для создания щелочной среды — гидроксид натрия и аммиак. В результате растительные экстракты *G. glabra* были получены 6-ю различными способами:

- ☐ экстракция метанолом по методу Сокслета;
- ☐ экстракция метанолом методом мацерации;
- ☐ экстракция метанолом в среде 0,1 н гидроксида натрия методом мацерации (pH = 12,5);
- ☐ экстракция метанолом в среде 0,1 н раствора аммиака методом мацерации (pH = 10,9);
- ☐ экстракция метанолом в среде 0,1 н трифторуксусной кислоты методом мацерации (pH = 1,2);
- ☐ экстракция метанолом в среде 0,1 н муравьиной кислоты методом мацерации (pH = 3,2).

Экстракцию метанолом по методу Сокслета проводили в течение 8 часов (15 циклов) при температуре кипения растворителя. Однако, согласно литературным данным, повышение температуры может вызывать разрушение термолабильных биологически активных веществ (БАВ) [17], поэтому для сравнения экстракцию методом мацерации проводили без нагревания. Экстракция методом мацерации проводилась в течение 8 часов при комнатной температуре при постоянном перемешивании, модуль экстракции составлял 1:40. В ходе эксперимента оценивали максимальный выход сухого экстракта.

2.5. Количественное определение содержания БАВ в экстрактах *G. glabra* методом ВЭЖХ

ВЭЖХ проводили на хроматографе LC-20AB Shimadzu Prominence (Shimadzu, Япония) с бинарным насосом. Детектор с диодной матрицей SPD-M20A (Shimadzu, Япония). Колонка Zorbax 300SB-C18 4,6x250 мм 5 мкм (Agilent, США). Разделение проводили при температуре 40 °C в режиме градиентного элюирования. Подвижная фаза: элюент А — 0,1% ТФУ в бидистиллированной воде, Б — ацетонитрил. Объем образца составлял 5 мкл. Скорость потока — 1 мл/мин, длина волны анализа — 254, 280 и 325 нм.

Компоненты идентифицировали по временам удерживания и спектрам индивидуальных стандартных веществ. Были использованы следующие аналитические стандарты: хлорогеновая кислота (хлорогеновая кислота, CAS327–97–9, ≥ 95,0%), кофейная кислота (транс-кофейная кислота, CAS501–16–6, аналитический стандарт), п-кумаровая кислота (р-кумаровая кислота, CAS501–98–4, ≥ 98,0%), феруловая кислота (транс-феруловая кислота, CAS537–98–4, аналитический стандарт), цикловая кислота (цикориновая кислота, CAS6537–80–0, ≥ 95,0% (ВЭЖХ)), розмариновая кислота (розмариновая кислота, CAS20283–92–5, 96,0%), апигенин-7-О-глюкозид (апигенин-7-О-глюкозид, CAS578–74–5, 93,47%), акацетин (акацетин, CAS480–44–4, ≥ 95% (ВЭЖХ)), 3,4-дигидроксibenзойная кислота (протокатеховая кислота) CAS99–50–3, ≥ 97,0%), кверцетин-3D-глюкозид (кверцетин-3-D-глюкозид, CAS482–35–9, ≥ 90,0% (ВЭЖХ)), лютеолин-7-глюкозид (цинарозид) (лютеолин-7-О-глюкозид, CAS5373–11–5, аналитический стандарт), гиперозид (гиперозид, CAS482–36–0, аналитический стандарт), рутин (гидрат рутина, CAS207671–50–9, ≥ 98,0%), астрагалин (кемпферол-3-глюкозид) (кемпферол-3-глюкозид, CAS480–10–4, 92,5%), катехин ((+)-катехин, CAS154–23–4, ≥ 99,0% (ВЭЖХ)), гесперетин (гесперетин-7-О-α-L-рамнопиранозид, CAS66513–83–5, аналитический стандарт).

Все стандарты и реактивы чистотой не ниже х. ч. поставлял АО «Аналитэксперт», Россия.

Концентрацию соединений рассчитывали по градуировочным уравнениям. Погрешность определения концентрации составляла 3–5%.

2.6. Определение антимикробной активности экстрактов *G. glabra*

Экстракт *G. glabra*, полученный методом мацерации 0,1 н метанольным раствором муравьиной кислоты, исследовали на антимикробную активность. При получении экстрактов на 100 мл растворителя приходилось 2,5 г растительного сырья. Растворители из экстрактов удаляли при помощи вакуумного ротационного испарителя IKA RV 8 V (ООО «ДВ-Эксперт», Россия). Затем экстракты высушивали с помощью установки лиофильной сушки Triad (Labconco Corporation, США). Условия сушки: вакуум — 0,037 мБар, температура охладителя — минус 80 °C. Экстракты, полученные из 2,5 г растительного сырья, растворяли в 100 мл смеси метанола с водой (9:1 соответственно).

Антимикробную активность экстрактов и индивидуальных БАВ *G. glabra* изучали диско-диффузионным методом. Для исследования использовали четыре штамма микроорганизмов: грамположительные бактерии *Bacillus subtilis* и грамотрицательные бактерии *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* на агаризованной среде LB, а также дрожжеподобные грибы рода *Candida albicans* на агаризованной среде Рингера. Концентрация микробной суспензии составляла $1,5 \cdot 10^8$ КОЕ/мл. Диаметр дисков равнялся 6 мм, а толщина слоя агара — $4,0 \pm 0,5$ мм. В качестве контроля использовали антибиотик канамицин концентрацией 50 мкг/диск (для бактерий) и флуконазол 500 мкг/диск (для дрожжеподобных грибов). Сравнение проводили со смесью, состоящей из 1%-й ТФУ (31%) и ацетонитрила (69%), в которых растворяли индивидуальные БАВ. Проводили 3 параллельных измерения. За результат измерения принимали среднее значение.

2.7. Выделение производного апигенина из экстрактов *G. glabra*

Из растительного экстракта лекарственного растения *G. glabra* выделяли производное апигенина. Для этого метанольный экстракт солодки разделяли на стеклянной хроматографической колонке (Agilent, США), собирали фракции метанол: уксусная кислота = 99:1, затем из полученной фракции с помощью коллектора фракций выделяли пик 15,495 мин, который по спектру поглощения определили как производное апигенина (вероятно, гликозид). Полученный образец сушили с помощью лиофильной сушки Triad (Labconco Corporation, США). Выход БАВ определяли гравиметрически.

2.8. Определение антиоксидантной активности экстрактов *G. glabra*

При определении антиоксидантной активности *G. glabra* по методу DPPH 20 мкл экстракта, раствора индивидуального соединения или стандартного раствора (тролокса) смешивали с 300 мкл свежеприготовленного 0,1 мМ раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила. Смесь инкубировали в темноте при комнатной температуре в течение 30 мин. Уменьшение оптической плотности по сравнению с контролем, состоящим из 0,1 мМ раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила и соответствующего растворителя, используемого для экстракции или при выделении фракций и индивидуальных соединений, регистрировали при 515 нм.

При определении антиоксидантной активности по методу ABTS предварительно готовили раствор ABTS-радикала. ABTS-радикал генерировали смешиванием аликвот 7,0 мМ раствора ABTS и 2,45 мМ раствора персульфата калия. Раствор выдерживали в течение 16 часов в темном месте при комнатной температуре. Для проведения реакции к 300 мкл подготовленного раствора катион-радикала ABTS^{•+} добавляли 20 мкл экстракта, раствора индивидуального соединения или стандарта (тролокса). Оптическую плотность измеряли при 734 нм после инкубации смеси в течение 15 мин при 37 °C в темноте. В качестве контрольной использовали пробу с ABTS-реактивом и соответствующим растворителем, используемым для экстракции индивидуальных соединений.

Для определения восстанавливающей силы экстрактов использовали свежеприготовленный реактив FRAP, приготовленный смешиванием 10 частей 0,3 М ацетатного буфера (pH 3,6), одной части 10 мМ раствора 2,4,6-трипиридил-*s*-триазина в 40 мМ HCl и одной части водного 20 мМ раствора хлорида железа FeCl₃·6H₂O. Реакцию запускали смешиванием 300 мкл FRAP-реактива и 20 мкл исследуемого экстракта, раствора индивидуального соединения или

раствора стандарта (тролокса). Время реакции составляло 10 мин при 37 °С в темноте. Оптическую плотность измеряли при 593 нм. В качестве контроля использовали пробу с FRAP-реактивом и соответствующим растворителем, используемым для экстракции или при выделении фракций и индивидуальных соединений.

При измерении антиоксидантной активности с использованием DPPH, ABTS и FRAP методов в качестве стандартного раствора использовали растворы тролокса (6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновой кислоты) известной концентрации. При анализе экстрактов результаты анализов выражали в мкмоль эквивалентов тролокса на грамм сухой массы растения (мкмоль экв. тролокса/г); при анализе фракций и/или индивидуальных соединений антиоксидантную активность выражали ммоль эквивалентов тролокса на грамм индивидуального соединения (ммоль экв. тролокса/г).

Все спектрофотометрические измерения проводили с использованием микропланшетного ридера CLARIOstar (BMG Labtech, Германия).

2.9. Статистическая обработка данных

Данные подвергали дисперсионному анализу (ANOVA) с использованием Statistica 10.0 (StatSoft Inc., 2007, США). Апостериорный анализ (критерий Дункана) проводился для выявления образцов, существенно отличающихся друг от друга. Равенство дисперсий извлеченных выборок проверяли с помощью теста Левена. Различия между средними считались значимыми, когда доверительный интервал был меньше 5% ($p < 0,05$).

3. Результаты и обсуждение

3.1. Химический состав солодки

Результаты изучения химического, элементного и витаминного составов образцов сырья (листьев) лекарственного растения *G. glabra* представлены в Таблице 1 и на Рисунке 1.

Таблица 1. Химический, элементный и витаминный состав образцов лекарственного растения *G. glabra* (сырья)

Table 1. Chemical, elementary and vitamin composition of the samples of medicinal herb *G. glabra* (raw materials)

№ п/п	Показатель	Значение
Химический состав, %		
1.	Зола	4,605±0,13
2.	Сырой жир	2,284±0,06
3.	Клетчатка	20,377±0,61
4.	Сырой протеин	9,844±0,29
Содержание макро- и микроэлементов, мг/кг		
5.	Mn	18,00±0,54
6.	Ni	–
7.	Zn	23,00±0,69
8.	Br	–
9.	Sr	165,00±4,95
10.	Rb	–
11.	Fe	289,00±8,67
12.	Ca	89,00±0,6
Содержание витаминов, мг/кг		
13.	B ₂	49,59±1,48
14.	B ₅	–
15.	B ₆	21,99±0,66
16.	C	121,75±3,62

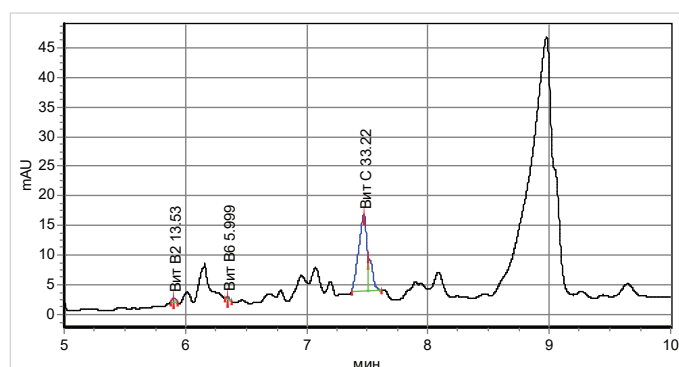


Рисунок 1. Электрофореграмма сырья *G. glabra*
Figure 1. Electropherogram of *G. glabra* raw materials

В результате проведенных экспериментов определен химический состав сырья *G. glabra*. Анализируя данные Таблицы 1, можно сделать вывод о том, что сырье *G. glabra* (листья) содержало значительное количество клетчатки — 20,377±0,61% и примерно в 10 раз меньше сырого жира — 2,284±0,06%. Количество сырого протеина составило 9,844±0,29%, содержание золы — 4,605±0,13%. Среди макро- и микроэлементов наибольшее количество обнаружено Fe — 289,00±8,67 мг/кг, Sr — 165,00±4,95 мг/кг и Ca — 89,00±0,6 мг/кг. Mn и Zn присутствуют в количествах 18,00±0,54 мг/кг и 23,00±0,69 мг/кг соответственно. Таких элементов, как Ni, Br и Rb в сырье солодки не обнаружено. Что касается витаминного состава, то в сырье *G. glabra* содержится большое количество водорастворимых витаминов: витамина C — 121,75±3,62 мг/кг, а также B₂ и B₆ — 49,59±1,48 мг/кг и 21,99±0,66 мг/кг соответственно. Аналогично нашим результатам, в исследовании [18] показано, что целое растение *G. glabra* (корень, стебли, листья), произрастающее в Узбекистане, содержит около 20% клетчатки, около 10% сырого протеина, около 3% сырого жира, около 5% золы. В золе содержится минеральная часть сырья *G. glabra* (K, Ca, Fe, Si, Sn, Mn, Zn и др.).

3.2. Тотальный выход экстрактов

Тотальный выход различных экстрактов *G. glabra* представлен в Таблице 2.

Таблица 2. Тотальный выход различных экстрактов солодки

Table 2. Total yield of different licorice extracts

Наименование	Выход экстракта, масс. %					
	Метод Сокслета		Метод мацерации			
	Метанол	Метанол	Метанол + NaOH	Метанол + NH ₄ OH	Метанол + ТФУ	Метанол + HCOOH
<i>G. glabra</i>	21,31±0,64	13,35±0,40	16,19±0,51	15,84±0,47	18,41±0,55	15,66±0,47

Наибольший выход экстракта наблюдался в процессе применения метода экстракции метанолом по Сокслету, в связи с этим далее приводятся хроматограммы для экстрактов *G. glabra*, полученных по методу Сокслета с метанолом в качестве экстрагента.

Данные Таблицы 2 показывают, что наибольший выход экстракта *G. glabra* получается при использовании метода экстракции по Сокслету с метанолом (выход экстракта 21,31±0,64 масс.%), немного уступает данному методу мацерация с использованием смесей метанол + NaOH и метанол + NH₄OH (16,19±0,51 масс.% и 15,84±0,47 масс.% соответственно). Далее следует метод мацерации со смесью растворителей метанол и ТФУ (18,41±0,55 масс.%). Наименьший

выход экстракта солодки показал метод мацерации с метанолом ($13,35 \pm 0,40$ масс.%), промежуточное положение занимает метод мацерации со смесью экстрагентов метанол + HCOOH ($15,66 \pm 0,47$ масс.%).

3.3. Анализ БАВ экстрактов *G. glabra*

Результаты количественного анализа БАВ метанольных экстрактов *G. glabra*, полученных по методу Сокслета, представлены на Рисунке 2.

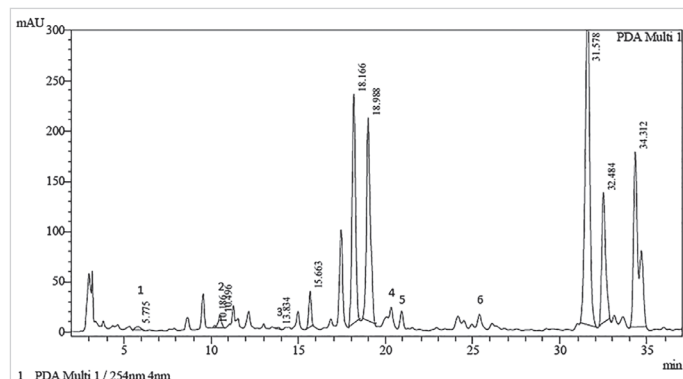


Рисунок 2. Хроматограмма ВЭЖХ метанольного экстракта *G. glabra* (метод Сокслета).

1–3,4-дигидроксibenзойная кислота, 2 — хлорогеновая кислота, 3 — кумаровая кислота, 4 — лютеолин-7-глюкозид, 5 — цикориевая кислота, 6 — апигенин-7-О-глюкозид, 7 — акацетин (54,95 мин, на хроматограмме не показано)

Figure 2. HPLC chromatogram of the methanol *G. glabra* extracts (Soxhlet method). 1–3,4-dihydroxybenzoic acid, 2 — chlorogenic acid, 3 — coumaric acid, 4 — luteolin-7-glucoside, 5 — chicoric acid, 6 — apigenin-7-O-glucoside, 7 — acacetin (54.95 min, not shown on the chromatogram)

В Таблице 3 представлено содержание БАВ в метанольных экстрактах *G. glabra*, полученных методом Сокслета и методами мацерации с различными растворителями. Именно эти экстракты исследовались на содержание БАВ, т. к. их выход был наибольшим.

Сравнение экспериментальных данных о содержании БАВ в метанольных экстрактах *G. glabra*, полученных методом Сокслета и представленных в Таблице 3, показывает, что в экстракте *G. glabra* с применением чистого метанола

в качестве экстрагента было идентифицировано наибольшее количество БАВ: 3,4-дигидроксibenзойная кислота ($3,68 \pm 0,11$ мг/кг), п-кумаровая кислота ($1,00 \pm 0,03$ мг/кг), лютеолин-7-глюкозид ($0,88 \pm 0,03$ мг/кг), акацетин ($15,45 \pm 0,46$ мг/кг), апигенин-7-О-глюкозид ($2,10 \pm 0,06$ мг/кг), цикориевая кислота ($5,43 \pm 0,16$ мг/кг) и гесперетин ($1,75 \pm 0,05$ мг/кг). При использовании метода мацерации с использованием смеси растворителей метанол + NaOH идентифицировано значительное количество розмариновой кислоты — $53,21 \pm 1,59$ мг/кг. При использовании метода мацерации с использованием смеси растворителей метанол + ТФУ обнаружено рекордное количество катехина — $1468,43 \pm 44,05$ мг/кг.

Таблица 3. Содержание БАВ в метанольных экстрактах *G. glabra*, полученных методом Сокслета и методами мацерации

Table 3. BAS content in the *G. glabra* methanol extracts obtained by the Soxhlet method and maceration methods

Наименование БАВ	Экстракция по Сокслету	Мацерация	
	Метанол	Экстрагент	
		Метанол + NaOH	Метанол + ТФУ
		Содержание БАВ, мг/кг	
3,4-дигидроксibenзойная кислота	3,68±0,11	–	–
Кофейная кислота	следы	–	–
Хлорогеновая кислота	следы	–	–
п-кумаровая кислота	1,00±0,03	–	следы
Феруловая кислота	следы	–	следы
Гиперозид	–	–	–
Рутин	следы	–	–
Кверцетин-3D-глюкозид	–	–	–
Лютеолин-7-глюкозид	0,88±0,03	следы	–
Астрагалин	следы	–	–
Розмариновая кислота	следы	53,21±1,59	–
Акацетин	15,45±0,46	–	следы
Апигенин-7-О-глюкозид	2,10±0,06	–	–
Кафтаровая кислота	–	–	–
Цикориевая кислота	5,43±0,16	–	следы
Катехин	следы	следы	1468,43±44,05
Гесперетин	1,75±0,05	–	–
Оноотин В	–	–	–

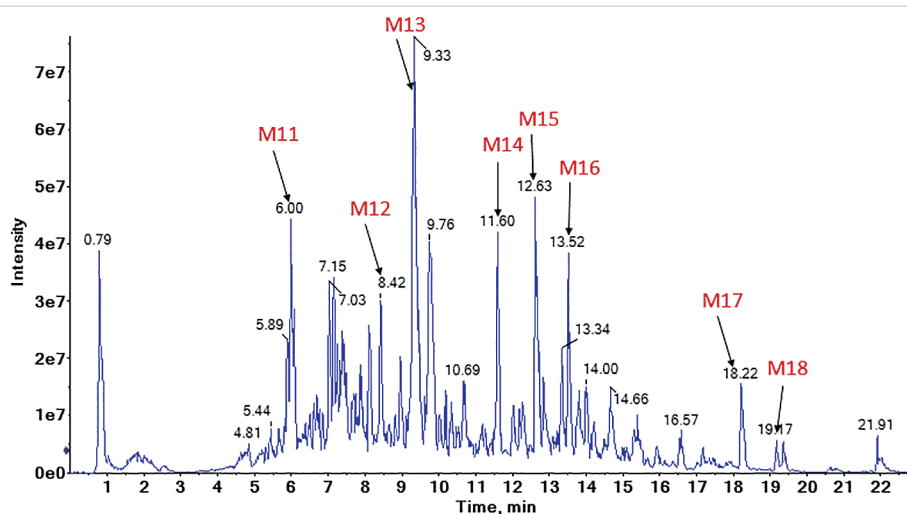


Рисунок 3. Хроматограммы общего ионного тока метанольного экстракта *G. glabra*, полученного методом экстракции по Сокслету, в режиме регистрации отрицательно заряженных ионов. Отмечены хроматографические сигналы вторичных метаболитов, выбранных для анализа структуры с помощью МС/МС

Figure 3. Total ion current chromatograms of the *G. glabra* methanol extract obtained by the Soxhlet extraction method under negative ion mode. Chromatographic signals of secondary metabolites chosen for structure analysis by MS/MS are indicated

В растительном экстракте лекарственного растения *G. glabra*, полученном методом экстракции по Сокслету, идентифицированы ликвиритин апиозид (Рисунок 3, пик M11), сапонин солодки G2 (Рисунок 3, пик M12), глицирризин (Рисунок 3, пик M13), димеры ликофлавона А (Рисунок 3, пик M14) и производного ликофлавона (Рисунок 3, пик M15), димер глаброла или гиспаглабридина (Рисунок 3, пик M16), димеры линолевой (Рисунок 3, пик M17) и пальмитиновой кислот (Рисунок 3, пик M18), димер ононина (Рисунок 4, пик M19), формонетин (Рисунок 4, пик M20). Количество данных веществ представлено в Таблице 4.

Согласно данным масс-спектрометрического анализа метаболитов *G. glabra*, полученным с помощью ВЭЖХ с масс-спектрометрией и представленным в Таблице 4, определены вторичные метаболиты со следующими химическими формулами: $C_{52}H_{60}O_{26}$, $C_{26}H_{30}O_{13}$, $C_{42}H_{62}O_{17}$, $C_{42}H_{62}O_{16}$, $C_{40}H_{36}O_8$, $C_{40}H_{40}O_8$, $C_{50}H_{56}O_8$, $C_{36}H_{64}O_4$, $C_{32}H_{64}O_4$, $C_{44}H_{46}O_{18}$ и $C_{16}H_{14}O_4$.

При фракционировании экстрактов *G. glabra* по Сокслету методом ВЭЖХ идентифицировано производное апигенина, выход которого составил $1 \cdot 10^2$ мг/кг при времени удер- живания 15,495 мин.

3.4. Антибактериальная активность экстрактов солодки

Антимикробная активность экстрактов *G. glabra*, полу- ченных по методу Сокслета и методами мацерации со сме- сями растворителей, представлена в Таблице 5.

Для экстрактов по методу Сокслета, проявивших актив- ность против указанных микроорганизмов, с целью уста- новления минимальной ингибирующей концентрации были приготовлены разбавления в 2 и в 5 раз. Однако ни один из разбавленных экстрактов не проявили активности в отношении *P. aeruginosa*, *C. albicans*, *E. coli*, *B. subtilis*.

При изучении антибактериальной активности (Табли- ца 5) экстрактов *G. glabra*, полученных по методу Сокслета с метанолом и методами мацерации со смесью растворите- лей, установлено, что данный экстракт по Сокслету с мета- нолом проявляет значительную антибактериальную актив- ность по отношению ко всем тест-штаммам. Зоны задержки роста тест-микроорганизмов составили: $13,6 \pm 0,41$ мм для *E. coli*, $10,8 \pm 0,32$ мм для *P. aeruginosa*, $16,1 \pm 0,48$ мм для *B. subtilis* и $13,2 \pm 0,39$ мм для *C. albicans*. Таким обра- зом, экстракт *G. glabra*, полученный экстракцией с мета- нолом по Сокслету, проявляет антимикробную активность

Таблица 4. Данные масс-спектрометрического анализа метаболитов экстрактов солодки по Сокслету

Table 4. Data of mass-spectrometric analysis of metabolites of the licorice extract obtained by the Soxhlet method

Мета- болит	tR, мин	Тип иона	Масса молекулярного иона (m/z), экспериментальная	Масса молекулярного иона (m/z), рассчитанная	Точность массы, ppm	Химическая формула	Фрагментация	Идентификация
M11	6	[M-H] ⁻	1099,3402 димер/549,17	1099,33 димер/549,1614	9,20	$C_{52}H_{60}O_{26}$ димер/ $C_{26}H_{30}O_{13}$	417,1217, 255,0676	ликвиритин апиозид
M12	8,4	[M-H] ⁻	837,3984	837,3914	8,84	$C_{42}H_{62}O_{17}$	–	сапонин солодки G2
M13	9,3	[M-H] ⁻	821,401	821,3965	5,48	$C_{42}H_{62}O_{16}$	351,0578	глицирризин
M14	11,6	[M-H] ⁻	643,2335	643,2337	0,31	$C_{40}H_{36}O_8$	321,113	димер ликофлавона А
M15	12,6	[M-H] ⁻	647,2715	647,265	10,00	$C_{40}H_{40}O_8$	323,1311	димер производного ликофлавона
M16	13,5	[M-H] ⁻	783,3919	783,3902	2,17	$C_{50}H_{56}O_8$	391,1904, 203,0739, 187,1152	димер глаброла или димер гиспаглабридина
M17	18,2	[M-H] ⁻	559,4728	559,4732	0,71	$C_{36}H_{64}O_4$	279,2328	димер линолевой кислоты
M18	19,2	[M-H] ⁻	511,4706	511,4732	5,08	$C_{32}H_{64}O_4$	255,2318	димер пальмитиновой кислоты
M19	7,3	[M+H] ⁺	861,2611	861,26	1,28	$C_{44}H_{46}O_{18}$	431,1351, 269,0812	димер ононина
M20	9,8	[M+H] ⁺	269,0809	269,0808	0,37	$C_{16}H_{14}O_4$	–	формонетин

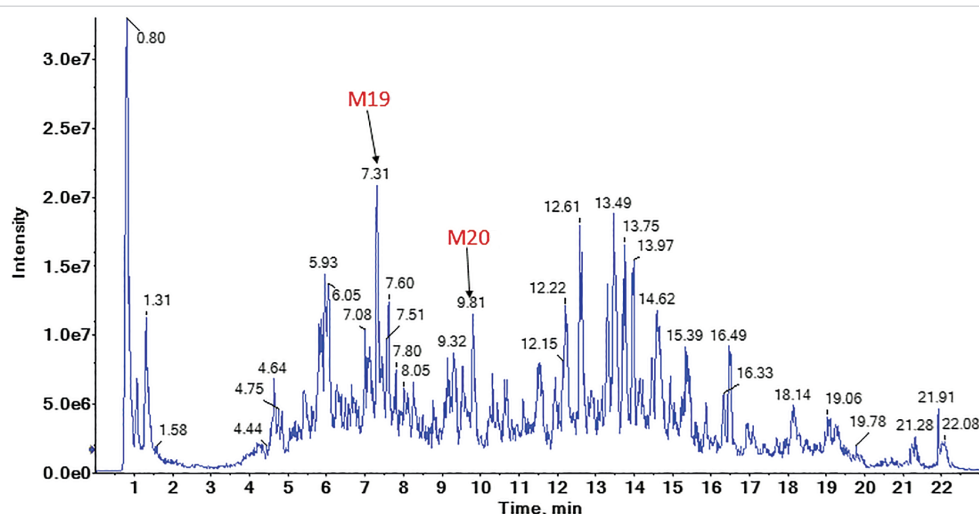


Рисунок 4. Хроматограммы общего ионного тока метанольного экстракта *G. glabra*, полученного методом экстракции по Сокслету, в режиме регистрации положительно заряженных ионов. Отмечены хроматографические сигналы вторичных метаболитов, выбранных для анализа структуры с помощью MS/MS

Figure 4. Total ion current chromatograms of the *G. glabra* methanol extract obtained by the Soxhlet extraction method under positive ion mode. Chromatographic signals of secondary metabolites chosen for structure analysis by MS/MS are indicated

по отношению ко всем тест-штаммам микроорганизмов. Предполагается, что наличие антимикробной активности данного экстракта объясняется присутствием в его составе таких БАВ, как полифенольные соединения и флавоноиды: 3,4-дигидроксibenзойная кислота, п-кумаровая кислота, лютеолин-7-глюкозид, акацетин, апигенин-7-О-глюкозид, цикориевая кислота и гесперетин. Розмариновая кислота, содержащаяся в экстракте *G. glabra*, полученном методом мацерации со смесью растворителей метанол + NaOH, оказывает антибактериальное воздействие только на *E. coli* и *B. subtilis* (зона задержки роста тест-организмов составила $6,7 \pm 0,20$ мм и $8,6 \pm 0,26$ мм соответственно). Против тест-штаммов *P. aeruginosa*, *B. subtilis* и *C. albicans* антибактериальную активность проявляют экстракты *G. glabra*, полученные методом мацерации со смесью растворителей метанол + ТФУ (зона задержки роста тест-организмов составила $6,4 \pm 0,19$ мм, $10,2 \pm 0,26$ мм и $6,6 \pm 0,26$ мм соответственно).

Таблица 5. Антимикробная активность экстрактов солодки, полученных по методу Сокслета и методами мацерации со смесями растворителей

Table 5. Antimicrobial activity of the licorice extracts obtained by the Soxhlet method and maceration methods with solvent mixtures

Наименование экстракта	Диаметры зон задержки роста тест-микроорганизмов, мм			
	<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>C. albicans</i>
Экстракция по Сокслету с метанолом	$13,6 \pm 0,41^a$	$10,8 \pm 0,32^a$	$16,1 \pm 0,48^a$	$13,2 \pm 0,39^a$
Мацерация метанол + NaOH	$6,7 \pm 0,20^b$	–	$8,6 \pm 0,26^b$	–
Мацерация метанол + ТФУ	–	$6,4 \pm 0,19^b$	$10,2 \pm 0,26^b$	$6,6 \pm 0,26^b$
Канамицин 50 мкг	$17,3 \pm 0,52^a$	$12,7 \pm 0,38^a$	$28,4 \pm 0,85^a$	–
Флуконазол 500 мкг	–	–	–	$20,5 \pm 0,62^a$

* – зона угнетения роста;

Значения в столбцах, за которыми следует одна и та же буква, существенно не различаются ($p < 0,05$) при оценке с помощью апостериорного теста (критерия Дункана). Данные представлены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение ($n = 3$).

Учитывая наибольшую антибактериальную активность метанольных экстрактов *G. glabra* по Сокслету и при помощи выделения индивидуального БАВ — производного апигенина, антиоксидантную активность определяли для данных образцов.

3.5. Антиоксидантная активность экстрактов *G. glabra* и индивидуальных БАВ

Антиоксидантная активность экстрактов *G. glabra* по Сокслету и БАВ производного апигенина представлена в Таблице 6.

Таблица 6. Антиоксидантная активность экстрактов солодки по Сокслету и БАВ производного апигенина

Table 6. Antioxidant activity of the licorice extracts obtained by the Soxhlet method and BAS of the apigenin derivative

Наименование	Антиоксидантная активность, мкмоль экв. тролокса/г		
	ABTS	DPPH	FRAP
Экстракт <i>G. glabra</i>	$117,62 \pm 7,91^a$	$58,16 \pm 3,90^a$	$23,91 \pm 1,12^a$
Производное апигенина	$12,08 \pm 0,62^b$	$2,42 \pm 0,13^b$	$0,031 \pm 0,002^b$

Значения в столбцах, за которыми следует одна и та же буква, существенно не различаются ($p < 0,05$) при оценке с помощью апостериорного теста (критерия Дункана). Данные представлены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение ($n = 3$).

При исследовании антиоксидантной активности экстрактов *G. glabra*, полученных по методу Сокслета, и биологически активного производного апигенина, выделенного

из экстрактов методом ВЭЖХ, которые представлены в Таблице 6, можно сделать вывод о значительной антиоксидантной активности экстрактов. Антиоксидантная активность экстрактов *G. glabra* по Сокслету по методу ABTS составила наибольшее значение: $117,62 \pm 7,91$ мкмоль экв. тролокса/г. Наименьшее значение было достигнуто по методу FRAP: $23,91 \pm 1,12$ мкмоль экв. тролокса/г. Антиоксидантная активность экстрактов по методу DPPH составила промежуточное значение: $58,16 \pm 3,90$ мкмоль экв тролокса/г.

Биологически активное производное апигенина показало самую большую антиоксидантную активность, хотя и значительно меньшую, чем для полного экстракта *G. glabra*, по Сокслету: показатель активности по методу ABTS составил $12,08 \pm 0,62$ мкмоль экв тролокса/г. Самое низкое значение антиоксидантной активности производное апигенина показало по методу FRAP: $0,031 \pm 0,002$ мкмоль экв тролокса/г. Антиоксидантная активность производного апигенина по методу DPPH составила $2,42 \pm 0,13$ мкмоль экв тролокса/г.

4. Выводы

Таким образом, в работе изучен химический состав и биологическая активность различных экстрактов *G. glabra*. Установлено, что сырье *G. glabra* (листья) содержит протеин, жир, клетчатку, золу: $9,844 \pm 0,29\%$, $2,284 \pm 0,06\%$, $20,377 \pm 0,61\%$ и $4,605 \pm 0,13\%$ соответственно. В сырье солодки обнаружены минеральные компоненты, такие, как Fe — $289,00 \pm 8,67$ мг/кг, Sr — $165,00 \pm 4,95$ мг/кг, Ca — $89,00 \pm 0,6$ мг/кг, Mn — $18,00 \pm 0,54$ мг/кг и Zn — $23,00 \pm 0,69$ мг/кг. Показано, что в сырье *G. glabra* содержатся витамины С — $121,75 \pm 3,62$ мг/кг, В2 — $49,59 \pm 1,48$ мг/кг и В6 — $21,99 \pm 0,66$ мг/кг. При проведении процесса экстракции наибольший выход экстракта *G. glabra* получается при использовании метода экстракции по Сокслету с метанолом (выход экстракта $21,31 \pm 0,64$ масс.%). В метанольных экстрактах *G. glabra*, полученных методом Сокслета, было идентифицировано наибольшее количество БАВ: 3,4-дигидроксibenзойная кислота ($3,68 \pm 0,11$ мг/кг), п-кумаровая кислота ($1,00 \pm 0,03$ мг/кг), лютеолин-7-глюкозид ($0,88 \pm 0,03$ мг/кг), акацетин ($15,45 \pm 0,46$ мг/кг), апигенин-7-О-глюкозид ($2,10 \pm 0,06$ мг/кг), цикориевая кислота ($5,43 \pm 0,16$ мг/кг) и гесперетин ($1,75 \pm 0,05$ мг/кг). При использовании метода мацерации с применением смеси растворителей метанол + NaOH идентифицировано значительное количество розмариновой кислоты — $53,21 \pm 1,59$ мг/кг.

Экстракты *G. glabra*, полученные по методу Сокслета с метанолом, проявляют значительную антибактериальную активность по отношению ко всем тест-штаммам. Зоны задержки роста тест-микроорганизмов составили: $13,6 \pm 0,41$ мм для *E. coli*, $10,8 \pm 0,32$ мм для *P. aeruginosa*, $16,1 \pm 0,48$ мм для *B. subtilis* и $13,2 \pm 0,39$ мм. Наличие антимикробной активности данного экстракта объясняется присутствием в его составе таких БАВ, как полифенольные соединения и флавоноиды.

Антиоксидантная активность экстрактов *G. glabra* по Сокслету по методу ABTS составила наибольшее значение: $117,62 \pm 7,91$ мкмоль экв. тролокса/г, наименьшее — по методу FRAP: $23,91 \pm 1,12$ мкмоль экв. тролокса/г. Антиоксидантная активность экстрактов по методу DPPH составила промежуточное значение: $58,16 \pm 3,90$, мкмоль экв тролокса/г.

В исследовании [19] описана антимикробная активность *G. glabra*. Анализировали спиртовой и водный экстракты листьев *G. glabra* для оценки антимикробной активности. Метод серийного разведения и метод оценки с помощью бумажного диска применялись для измерения минимальной ингибирующей концентрации (МИК) и минимальной

концентрации бактерий (МБК) для проверки противомикробной активности *G. glabra* против *Klebsiella pneumoniae*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterococcus faecalis*. Результаты подтвердили, что спиртовой экстракт *G. glabra* обладает антимикробным потенциалом против *C. albicans* и грамположительных бактерий в зависимости от дозы. Спиртовой экстракт листьев *G. glabra* эффективен против грамположительных бактерий, поэтому он может быть вероятным альтернативным лекарством против различных штаммов бактерий [19].

Антиоксидантная активность *G. glabra* является одной из основных причин использования этого растения. Содержание фенолов, вероятно, отвечает за наблюдаемую мощную антиоксидантную активность [20]. Эта активность приписана флавоноидам и изофлавонам, таким как глабридин, гиспаглабридин А и 30-гидрокси-4-О-метилглабридин. Местное применение экстракта *G. glabra* может иметь ценность в инновационных кожных и косметических продуктах, поскольку он противодействует окислительному стрессу, поддерживая гомеостаз кожи благодаря высокому содержанию антиоксидантов [20].

Исследователи сообщили, что *C. albicans* чувствителен к экстрактам *G. glabra* из-за богатого содержания в них ликиритигенина, ликиритина, ликохалкона А и глабридина. Тем не менее, согласно [20], на антимикробную активность могут влиять условия окружающей среды, от которых может зависеть содержание химических соединений, а также биологическая активность.

В результате проведенных исследований доказано, что экстракты солодки, произрастающей на территории Калининградской области, обладают антибактериальной и антиоксидантной активностью, которая проявляется за счет полифенольных соединений и флавоноидов, содержащихся в метанольном экстракте *G. glabra* по Сокслету. Данные БАВ и их биологическая активность метанольных экстрактов *G. glabra*, произрастающей в Северо-Западном округе России, впервые определены в результате представленных исследований. Установлено, что именно такой экстракт *G. glabra* может стать естественной альтернативой существующей терапии для устранения антибактериальных заболеваний и возникающего за счет свободных радикалов раннего старения, окислительного стресса организма человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Fiore, C., Eisenhut, M., Ragazzi, E., Zanchin, G., Armanini, D. (2005). A history of the therapeutic use of liquorice in Europe. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(3), 317–324. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.04.015>
- Mamedov, N. A., Egamberdieva, D. (2019). Phytochemical constituents and pharmacological effects of licorice: A review. *Plant and Human Health*, 3, 1–21.
- Hayashi, H., Yokoshima, K., Chiba, R., Fujii, I., Fattokhov, I., Saidov, M. (2019). Field survey of *Glycyrrhiza* plants in Central Asia. Chemical characterization of *G. bucharica* Collected in Tajikistan. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 67(6), 534–539. <https://doi.org/10.1248/cpb.c18-00881>
- Wahab, S., Annadurai, S., Abullais, S. S., Das, G., Ahmad, W., Ahmad, M. F. et al. (2021). *Glycyrrhiza glabra* (Licorice): A comprehensive review on its phytochemistry, biological activities clinical evidence and toxicology. *Plants*, 10(12), Article 2751. <https://doi.org/10.3390/plants10122751>
- Jiang, M., Zhao, S., Yang, S., Lin, X., He, X., Wei, X. et al. (2020). An “essential herbal medicine” — licorice: A review of phytochemicals and its effects in combination preparations *Journal of Ethnopharmacology*, 249, Article 112439. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112439>
- Esmaili, H., Karami, A., Hadian, J., Nejad Ebrahimi, S., Otto, L.-G. (2020). Genetic structure and variation in Iranian licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) populations based on morphological, phytochemical and simple sequence repeats markers. *Industrial Crops and Products*, 145, Article 112140. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112140>
- Pastorino, G., Cornara, L., Soares, S., Rodrigues, F., Oliveira, M. B. P. P. (2018). Licorice (*Glycyrrhiza glabra*): A phytochemical and pharmacological review. *Phytotherapy Research*, 32(12), 2323–2339. <https://doi.org/10.1002/ptr.6178>
- Wang, L., Yang, R., Yuan, B., Liu, Y., Liu, C. (2015). The antiviral and antimicrobial activities of licorice, a widely-used Chinese herb. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 5(4), 310–315. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2015.05.005>
- Rizzato, G., Scalabrini, E., Radaelli, M., Capodaglio, G., Piccolo, O. (2017). A new exploration of licorice metabolome. *Food Chemistry*, 221, 959–968. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.068>
- Xiaoying, W., Han, Z., Yu, W. (2017). Sustained Energy for Enhanced Human Functions and Activity. *Glycyrrhiza glabra* (Licorice). Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2017.
- Alsayari, A., Wahab, S. (2021). Genus *Ziziphus* for the treatment of chronic inflammatory diseases. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), 6897–6914. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.07.076>
- Bao, F., Bai, H.-Y., Wu, Z.-R., Yang, Z.-G. (2021). Phenolic compounds from cultivated *Glycyrrhiza uralensis* and their PD-1/PD-L1 inhibitory activities. *Natural Product Research*, 35(4), 562–569. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1586698>
- Batiha, G. E.-S., Beshbishy, A. M., El-Mleeh, A., Abdel-Daim, M. M., Devkota, H. P. (2020). Traditional uses, bioactive chemical constituents, and pharmacological and toxicological activities of *Glycyrrhiza glabra* L. (Fabaceae). *Biomolecules*, 10(3), Article 352. <https://doi.org/10.3390/biom10030352>
- Richard, S. A. (2021). Exploring the pivotal immunomodulatory and anti-inflammatory potentials of glycyrrhizic and glycyrrhetic acids. *Mediators of Inflammation*, 2021, Article 6699560. <https://doi.org/10.1155/2021/6699560>
- Thakur, A. K., Raj, P. (2017). Pharmacological perspective of *Glycyrrhiza glabra* Linn.: A Mini-Review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5(5), Article 00156. <https://doi.org/10.15406/japlr.2017.05.00156>
- Montegiove, N., Pellegrino, R. M., Emiliani, C., Pellegrino, A., Leonardi, L. (2021). An alternative approach to evaluate the quality of protein-based raw materials for dry pet food. *Animals*, 11(2), Article 458. <https://doi.org/10.3390/ani11020458>
- Vazquez-Morado, L. E., Robles-Zepeda, R. E., Ochoa-Leyva, A., Arvizu-Flores, A. A., Garibay-Escobar, A., Castillo-Yañez, F. et al. (2021). Biochemical characterization and inhibition of thermolabile hemolysin from *Vibrio parahaemolyticus* by phenolic compounds. *PeerJ*, 9, Article e10506. <https://doi.org/10.7717/peerj.10506>
- Кароматов, И. Д., Юсупова, Г. С. (2018). Нейропродуктивные свойства солодки. *Биология и интерактивная медицины*, 8(25), 79–90.
- Chen, K., Yang, R., Shen, F.-Q., Zhu, H.-L. (2019). Advances in pharmacological activities and mechanisms of glycyrrhizic acid. *Current Medicinal Chemistry*, 27(36), 6219–6243. <https://doi.org/10.2174/092986732566619101115407>
- Leite, C. D. S., Bonafé, G. A., Carvalho Santos, J., Martinez, C. A. R., Ortega, M. M., Ribeiro, M. L. (2022). The anti-inflammatory properties of licorice (*Glycyrrhiza glabra*) — derived compounds in intestinal disorders. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(8), Article 4121. <https://doi.org/10.3390/ijms23084121>
- Fiore, C., Eisenhut, M., Ragazzi, E., Zanchin, G., Armanini, D. (2005). A history of the therapeutic use of liquorice in Europe. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(3), 317–324. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.04.015>
- Mamedov, N. A., Egamberdieva, D. (2019). Phytochemical constituents and pharmacological effects of licorice: A review. *Plant and Human Health*, 3, 1–21.
- Hayashi, H., Yokoshima, K., Chiba, R., Fujii, I., Fattokhov, I., Saidov, M. (2019). Field survey of *Glycyrrhiza* plants in Central Asia. Chemical characterization of *G. bucharica* Collected in Tajikistan. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 67(6), 534–539. <https://doi.org/10.1248/cpb.c18-00881>
- Wahab, S., Annadurai, S., Abullais, S. S., Das, G., Ahmad, W., Ahmad, M. F. et al. (2021). *Glycyrrhiza glabra* (Licorice): A comprehensive re-

REFERENCES

- Fiore, C., Eisenhut, M., Ragazzi, E., Zanchin, G., Armanini, D. (2005). A history of the therapeutic use of liquorice in Europe. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(3), 317–324. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.04.015>
- Mamedov, N. A., Egamberdieva, D. (2019). Phytochemical constituents and pharmacological effects of licorice: A review. *Plant and Human Health*, 3, 1–21.
- Hayashi, H., Yokoshima, K., Chiba, R., Fujii, I., Fattokhov, I., Saidov, M. (2019). Field survey of *Glycyrrhiza* plants in Central Asia. Chemical characterization of *G. bucharica* Collected in Tajikistan. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 67(6), 534–539. <https://doi.org/10.1248/cpb.c18-00881>
- Wahab, S., Annadurai, S., Abullais, S. S., Das, G., Ahmad, W., Ahmad, M. F. et al. (2021). *Glycyrrhiza glabra* (Licorice): A comprehensive re-
- view on its phytochemistry, biological activities clinical evidence and toxicology. *Plants*, 10(12), Article 2751. <https://doi.org/10.3390/plants10122751>
- Jiang, M., Zhao, S., Yang, S., Lin, X., He, X., Wei, X. et al. (2020). An “essential herbal medicine” — licorice: A review of phytochemicals and its effects in combination preparations *Journal of Ethnopharmacology*, 249, Article 112439. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112439>
- Esmaili, H., Karami, A., Hadian, J., Nejad Ebrahimi, S., Otto, L.-G. (2020). Genetic structure and variation in Iranian licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) populations based on morphological, phytochemical and simple sequence repeats markers. *Industrial Crops and Products*, 145, Article 112140. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112140>

7. Pastorino, G., Cornara, L., Soares, S., Rodrigues, F., Oliveira, M. B. P. P. (2018). Licorice (*Glycyrrhiza glabra*): A phytochemical and pharmacological review. *Phytotherapy Research*, 32(12), 2323–2339. <https://doi.org/10.1002/ptr.6178>
8. Wang, L., Yang, R., Yuan, B., Liu, Y., Liu, C. (2015). The antiviral and antimicrobial activities of licorice, a widely-used Chinese herb. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 5(4), 310–315. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2015.05.005>
9. Rizzato, G., Scalabrin, E., Radaelli, M., Capodaglio, G., Piccolo, O. (2017). A new exploration of licorice metabolome. *Food Chemistry*, 221, 959–968. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.068>
10. Xiaoying, W., Han, Z., Yu, W. (2017). Sustained Energy for Enhanced Human Functions and Activity. *Glycyrrhiza glabra* (Licorice). Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2017.
11. Alsayari, A., Wahab, S. (2021). Genus Ziziphus for the treatment of chronic inflammatory diseases. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), 6897–6914. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.07.076>
12. Bao, F., Bai, H.-Y., Wu, Z.-R., Yang, Z.-G. (2021). Phenolic compounds from cultivated *Glycyrrhiza uralensis* and their PD-1/PD-L1 inhibitory activities. *Natural Product Research*, 35(4), 562–569. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1586698>
13. Batiha, G. E.-S., Beshbishy, A. M., El-Mleeh, A., Abdel-Daim, M. M., Devkota, H. P. (2020). Traditional uses, bioactive chemical constituents, and pharmacological and toxicological activities of *Glycyrrhiza glabra* L. (Fabaceae). *Biomolecules*, 10(3), Article 352. <https://doi.org/10.3390/biom10030352>
14. Richard, S. A. (2021). Exploring the pivotal immunomodulatory and anti-inflammatory potentials of glycyrrhizic and glycyrrhetic acids. *Mediators of Inflammation*, 2021, Article 6699560. <https://doi.org/10.1155/2021/6699560>
15. Thakur, A. K., Raj, P. (2017). Pharmacological perspective of *Glycyrrhiza glabra* Linn.: A Mini-Review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5(5), Article 00156. <https://doi.org/10.15406/japlr.2017.05.00156>
16. Montegiove, N., Pellegrino, R.M., Emiliani, C., Pellegrino, A., Leonardi, L. (2021). An alternative approach to evaluate the quality of protein-based raw materials for dry pet food. *Animals*, 11(2), Article 458. <https://doi.org/10.3390/ani11020458>
17. Vazquez-Morado, L. E., Robles-Zepeda, R. E., Ochoa-Leyva, A., Arvizu-Flores, A. A., Garibay-Escobar, A., Castillo-Yañez, F. et al. (2021). Biochemical characterization and inhibition of thermolabile hemolysin from *Vibrio parahaemolyticus* by phenolic compounds. *PeerJ*, 9, Article e10506. <https://doi.org/10.7717/peerj.10506>
18. Karomatov, I. J., Yusupova, G. S. (2018). Neuroprotective properties of the glycyrrhiza. *Biology and Integrative Medicine*, 8(25), 79–90. (In Russian)
19. Chen, K., Yang, R., Shen, F.-Q., Zhu, H.-L. (2019). Advances in pharmacological activities and mechanisms of glycyrrhizic acid. *Current Medicinal Chemistry*, 27(36), 6219–6243. <https://doi.org/10.2174/0929867325666191011115407>
20. Leite, C. D. S., Bonafé, G. A., Carvalho Santos, J., Martinez, C. A. R., Ortega, M. M., Ribeiro, M. L. (2022). The anti-inflammatory properties of licorice (*Glycyrrhiza glabra*) — derived compounds in intestinal disorders. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(8), Article 4121. <https://doi.org/10.3390/ijms23084121>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Бабич Ольга Олеговна — доктор технических наук, доцент, директор Научно-образовательного центра, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7–906–922–09–92 E-mail: olich.43@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4921-8997	Olga O. Babich , Doctor of Technical Sciences, Docent, Director of the Scientific and Educational Center, Immanuel Kant Baltic Federal University 14, A. Nevsky str., 236041, Kaliningrad, Russia Тел.: +7–906–922–09–92 E-mail: olich.43@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4921-8997
Ульрих Елена Викторовна — доктор технических наук, заместитель директора Института агроинженерии и пищевых систем по научной и международной деятельности, Калининградский государственный технический университет 236022, г. Калининград, проспект Советский, 1 Тел.: +7–904–960–94–96 E-mail: elen.ulrich@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4107-7277 * автор для контактов	Elena V. Ulrikh , Doctor of Technical Sciences, Deputy Director of the Institute of Agroengineering and Food Systems for Scientific and International Activities, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 236022, Kaliningrad, Russia Тел.: +7–904–960–94–96 E-mail: elen.ulrich@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4107-7277 * corresponding author
Ларина Виктория Викторовна — младший научный сотрудник, Институт живых систем, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7–996–522–72–04 E-mail: surinac@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2012-2438	Victoria V. Larina , Junior Researcher, Institute of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University 14, A. Nevsky str., 236041, Kaliningrad, Russia Тел.: +7–996–522–72–04 E-mail: surinac@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2012-2438
Бахтиярова Алина Халимовна — студент, Институт живых систем, кафедра биотехнологии, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7–931–245–26–77 E-mail: bakhtiarova.allina@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5521-6907	Alina K. Bakhtiarova , Student, Institute of Living Systems, Department of Biotechnology, Immanuel Kant Baltic Federal University 14, A. Nevsky str., 236041, Kaliningrad, Russia Тел.: +7–931–245–26–77 E-mail: bakhtiarova.allina@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5521-6907
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/10.21323/2618-9771-2022-5-3-271-277>

Поступила 06.09.2022

Поступила после рецензирования 18.09.2022

Принята в печать 26.09.2022

© Новикова М. В., Виролайн К. Э., Нефедов А. Д., Успенская М. В., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

рН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЪЕДОБНЫЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ БИОКОМПОЗИТА КАЗЕИНАТ НАТРИЯ/АГАР-АГАР

Новикова М. В.^{1*}, Виролайн К. Э.², Нефедов А. Д.², Успенская М. В.²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок, Санкт-Петербург, Россия

² Национальный Исследовательский Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

съедобные пленки, контроль качества, казеинат натрия, агар-агар, антоцианы черной моркови (*Scorconera hispanica*)

АННОТАЦИЯ

С В современном мире все большее значение приобретает продление срока годности продуктов питания с возможностью контроля их свежести и качества в режиме реального времени. Для решения этой задачи может быть предложена разработка рН-чувствительных пленок на основе съедобных биополимеров с добавкой антоцианов в качестве цветового индикатора. Для проведения данного исследования были приготовлены пленки биокompозита казеинат натрия/агар-агар с различным содержанием антоцианов черной моркови (*Scorconera hispanica*) 0–15 масс.% с шагом 5 масс.%. Было установлено, что содержание антоцианов не влияет на толщину и влагосодержание пленок, однако значительно снижает их влагопоглощение и прозрачность. Паропроницаемость пленок биокompозита возросла с увеличением содержания водного экстракта антоцианов черной моркови, что может быть связано с образованием пор и микротрещин в матрице биокompозита. Все пленки с антоцианами показали изменение цвета в зависимости от рН среды, интенсивность которого зависела от содержания антоцианов. Съедобные пленки на основе смеси казеината натрия и агар-агара потенциально могут быть использованы в пищевой промышленности для определения свежести продуктов, в результате порчи которых происходит изменение рН.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS2022–0017 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 06.09.2022

Accepted in revised 18.09.2022

Accepted for publication 26.09.2022

© Novikova M. V., Virolina K. E., Nefyodov A. D., Uspenskaya M. V., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

pH-SENSITIVE EDIBLE FILMS BASED ON THE SODIUM CASEINATE/AGAR-AGAR BIOCOMPOSITE

Mariia V. Novikova^{1*}, Ksenia E. Virolina², Andrey D. Nefyodov², Mayya V. Uspenskaya²

¹ All-Russian Research Institute for Food Additives, St. Petersburg, Russia

² ITMO University, St. Petersburg, Russia

KEY WORDS:

edible films, quality control, sodium caseinate, agar-agar, anthocyanins of black carrot (*Scorconera hispanica*)

ABSTRACT

In the modern world, shelf life extension of foods with a possibility of controlling their freshness and quality in real time is gaining increasing importance. To solve this task, the development of pH-sensitive films based on edible biopolymers with addition of anthocyanins as a color indicator can be proposed. For this experiment, sodium caseinate/ agar-agar biocomposite films with different content of anthocyanins from black carrot (*Scorconera hispanica*) in a range of 0 to 15 mass% in increments of 5 mass% were prepared. It was established that the anthocyan content did not affect the thickness and moisture content of the films; however, it significantly reduced their moisture absorption and transparency. Water vapor permeability of the biocomposite films increased with an increase in the content of the aqueous extract of anthocyanins from black carrot, which can be linked with the formation of pores and microcracks in the biocomposite matrix. All films with anthocyanins showed changes in color depending on the environmental pH, which intensities depended on the anthocyan content. Edible films based on the mixture of sodium caseinate and agar-agar can potentially be used in the food industry to determine freshness of foods, which spoilage results in pH changes.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS2022–0017 of the state assignment of the V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

В настоящее время увеличивается потребительский спрос на безопасные продукты питания высокого качества. В то же время экологические проблемы, связанные с использованием упаковки на основе нефтехимических полимеров,

подталкивают исследователей к разработке безопасных материалов с хорошими эксплуатационными свойствами на основе возобновляемых природных источников, таких как белки, полисахариды, липиды или их смеси [1]. Наиболее распространенными биополимерами для получения

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Новикова, М. В., Виролайн, К. Э., Нефедов, А. Д., Успенская, М. В. (2022). рН-чувствительные съедобные пленки на основе биокompозита казеинат натрия/агар-агар. *Пищевые системы*, 5(3), 271–277. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-271-277>

FOR CITATION: Novikova, M. V., Virolina, K. E., Nefyodov, A. D., Uspenskaya, M. V. (2022). pH-sensitive edible films based on the sodium caseinate/agar-agar biocomposite. *Food Systems*, 5(3), 271–277. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-271-277>

съемной упаковки являются крахмал, хитозан, соевый белок, агар-агар, казеин, желатин и др.

Казеин является основным молочным белком, получаемым путем осаждения из обезжиренного молока, и состоит из смеси α S1-, α S2-, β - и κ -казеина в пропорции 38%, 36% и 13% соответственно [2]. Тем не менее казеин нерастворим в воде, поэтому в пищевой промышленности обычно используют одну из его водорастворимых форм — казеинат натрия. Казеинат натрия обладает высокими питательной ценностью, а также пленкообразующей и эмульсионной способностями, что делает его одним из потенциальных кандидатов для изготовления съедобной упаковки [3]. Более того, термостабильность казеината натрия позволяет формировать материалы на его основе с помощью промышленных термомеханических методов, таких как экструзия и прессование без потери эксплуатационных характеристик, по сравнению с пленками, полученными таким лабораторным методом, как литье из раствора [4]. Барьерные свойства к кислороду пленок на основе казеината натрия сравнимы с некоторыми синтетическими полимерами, например, полиэтилен-терифталатом. Несмотря на то, что казеинат натрия имеет множество преимуществ, чувствительность к влаге и низкие механические свойства снижают возможность его применения для производства съедобной упаковки. Из литературы известно, что пленки на основе смеси биополимеров обладают более высокими эксплуатационными характеристиками, которые можно контролировать, изменяя соотношение биополимеров в составе композита [5]. Агар-агар является смесью полисахаридов агарозы и агаропектина с высокой гелеобразующей способностью даже при общей низкой концентрации 1–2 масс.%. Добавление агар-агара к пленкообразующему раствору на основе казеината натрия может привести к увеличению механической прочности пленок и стабильности во время сушки за счет достаточно высокой температуры гелеобразования (35–38 °C). Согласно литературным данным, добавка агар-агара в материалы на основе крахмала увеличила механическую прочность в 2 раза [6], а для пленок на основе соевого белка — в 6 раз [7].

Кроме защиты продуктов от негативного влияния окружающей среды, интерес вызывает также разработка интеллектуальной упаковки, позволяющей контролировать микробное загрязнение и свежесть продуктов в режиме реального времени в процессе хранения и транспортирования [1]. Пленка-индикатор может изменять цвет в результате выделения различных веществ, таких как амины и аммиак, вызывающих изменение pH в сторону щелочной среды, а также порчу продуктов, которая может привести к пищевым отравлениям. В качестве pH-чувствительного пищевого красителя наиболее часто используются антоцианы — растительные флавоноиды оранжевого, красного, синего, фиолетового и пурпурного цветов, содержащиеся в лепестках бутонов, фруктах и овощах [8]. Тем не менее антоцианы чувствительны к факторам окружающей среды, они легко разрушаются под действием температуры, света, кислорода, ионов металлов и т. д. Антоцианы черной моркови имеют более насыщенный цвет и стабильность окраски при различных значениях pH, воздействии света и температуры, по сравнению с антоцианами из других источников, за счет наличия большего количества ацилированных групп [9]. Антоцианы черной моркови были успешно использованы для приготовления pH-чувствительных пленок на основе смеси хитозана и поливинилового спирта.

Одной из стратегий повышения стабильности антоцианов является их взаимодействие с природными полимерами [8]. Из литературы известно, что казеинат натрия способен образовывать гидрофильные или гидрофобные связи

с антоцианами, что может привести к увеличению их стабильности [10]. Добавление казеина к раствору антоцианов достоверно предотвращает потерю цвета, а также уменьшает термическую (80 °C, 2 ч), окислительную (0,005% H_2O_2 , 2 ч) и фото-деградацию (5000 лк, 5 дней) до 37,61%, 18,70% и 29,37% соответственно. Тем не менее данных о влиянии антоцианов на эксплуатационные характеристики съедобных пленок на основе казеината натрия в настоящее время не представлено.

Исходя из этого, целью данной работы было получение pH-чувствительных съедобных пленок на основе смеси казеината натрия и агар-агара с добавкой глицерина в качестве пластификатора. В работе было проанализировано влияние водной вытяжки антоцианов черной моркови на эксплуатационные характеристики биокомпозита, включая паропроницаемость, растворимость в воде, влагосодержание и влагопоглощение, а также изменение цветовых характеристик пленок в буферных растворах с различными значениями pH.

2. Объекты и методы

В работе были использованы: казеинат натрия пищевой производства ООО «Бригантина» (Россия), агар-агар микробиологический, импортный, производитель ООО «НИЦФ» (Россия), глицерин производства ООО «АО РЕАХИМ» (Россия). Водная вытяжка антоцианов черной моркови (Россия) с концентрацией антоцианов 15 масс.%, имеет темно-фиолетовый цвет и нейтральный запах. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода.

Для приготовления пленкообразующих растворов предварительно готовили индивидуальные растворы казеината натрия и агар-агара. Для этого 3 масс.% порошков биополимеров растворяли в дистиллированной воде при температуре 60 °C и 90 °C соответственно. Перемешивание растворов продолжалось в течение 10 минут до полного растворения полимеров, после чего полученные растворы смешивали в соотношении 70/30 об.%/об.% казеинат натрия/агар-агар и перемешивали при температуре 60 °C в течение 10 минут. Далее в полученную смесь биополимеров вводили глицерин в качестве пластификатора в количестве 30 масс.% от общей массы биополимеров. Затем в пленкообразующий раствор вводили водный экстракт антоцианов черной моркови в количестве 0–15 масс.% с шагом 5 масс.% от общей массы биополимеров. Все пленкообразующие растворы имели нейтральный pH, соответствующий 7. Полученные растворы перемешивали на магнитной мешалке в течение 10 минут, разливали в полипропиленовые чашки Петри диаметром 10 см и сушили в конвекционном сушильном шкафу при температуре 25 °C в течение 12 часов. Полученные пленки представлены на Рисунке 1.

Толщину пленок биокомпозитов измеряли в 10 различных точках с использованием цифрового микрометра системы микропара винт-гайка МКЦ-25 производства «Техрим» (Россия), имеющего погрешность ± 4 мкм., после чего определяли среднее значение для каждого состава.

Для определения влагосодержания образцы пленок подвергались сушке в сушильном шкафу при 105 °C. Образцы сушили до постоянства массы, проводя замеры каждый час. Высушенные образцы после взвешивания были помещены в эксикатор с относительной влажностью 100% на 48 часов, после чего были повторно взвешены для определения влагопоглощения.

Прозрачность материалов была выявлена как коэффициент пропускания с использованием спектрофотометра UV-Vis UV-2804, Unicо (США), при длине волны зеленого излучения $\lambda = 550$ нм.

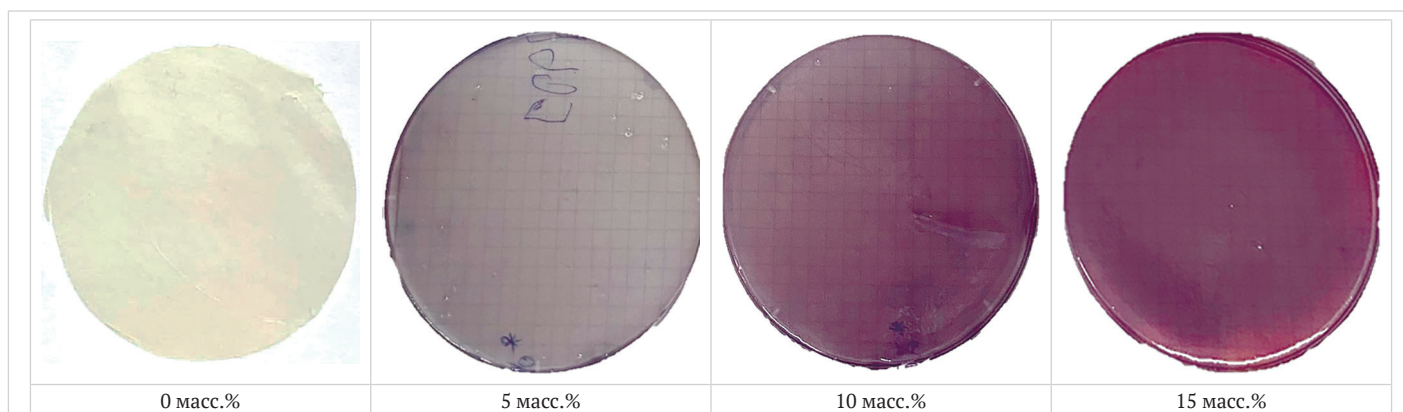


Рисунок 1. Фотографии полученных пленок с различным содержанием антоцианов 0–15 масс.%.
Figure 1. Photos of the obtained films with the different content of anthocyanins (0–15 mass%)

Значения T были определены с использованием значений толщины пленок t по уравнению (1):

$$T = \frac{1}{A_{550}/t} \quad (1),$$

где:

A_{550} — коэффициент поглощения пленки при длине волны;
 $\lambda = 550$ нм.

Для определения растворимости три образца пленки диаметром 20 мм каждого состава были помещены в дистиллированную воду на 60 мин при комнатной температуре. По истечении заданного времени растворы отфильтровывали через фильтровальную бумагу Whatman № 1 для отделения набухших образцов и сушили при комнатной температуре в течение 24 часов. Потеря массы за время растворения была определена гравиметрическим методом, согласно уравнению 2:

$$\text{Растворимость} = \frac{m_2 - m_3}{m_1} \times 100\% \quad (2),$$

где:

m_1 — масса пленки до растворения;
 m_2 — масса пленки на фильтровальной бумаге после растворения и сушки при комнатных условиях;
 m_3 — масса фильтровальной бумаги.

Паропроницаемость пленок определяли гравиметрическим методом согласно стандарту ASTM E96/E96M-10. Для этого стеклянные измерительные ячейки ($A=60$ мм, $h=22$ мм) заполняли гигроскопичным силикагелем, предварительно прокаленным при температуре 120°C в течение 48 ч ($RH = 0\%$). После чего на входном отверстии измерительной ячейки герметично закрепляли образец пленки с помощью двухсторонней липкой ленты. Измерительные ячейки с закрепленными образцами взвешивали для на лабораторных весах с точностью до $0,0001$ г и помещали в эксикатор с влажностью $RH=100\%$. Измерение массы проводилось каждые 24 ч в течение семи дней. Полученные данные свидетельствовали о скорости изменения паропроницаемости для каждого испытуемого образца. Скорость паропереноса ($WVTR$) представляет собой произведение тангенса угла наклона касательной к кривым водопоглощения на планарную площадь пленки $S_{WVP} = 0,1884$ м². Паропроницаемость (WVP) рассчитывали с использованием значений $WVTR$, толщины пленки t и разницы парциального давления водяного пара внутри и снаружи измерительной ячейки $\Delta P = 3100$ Па:

$$WVP = \frac{WVTR \times t}{\Delta P} \quad (3),$$

где:

$WVTR$ — скорость паропереноса;
 t — толщина пленки;
 ΔP — разница парциального давления водяного пара внутри и снаружи измерительной ячейки.

Для визуального анализа влияния pH среды на пленки были приготовлены буферные растворы с pH 2,2–14 согласно ГОСТ 4819.2–2016¹. Далее буферные растворы по каплям добавлялись к пленкам до появления визуальных изменений. Цвет пленок определяли в соответствии с методом, описанным в работе [11]. Для этого показатели L^* (светлота), a^* (красно-зеленый), b^* (желто-голубой) были определены с использованием программного обеспечения Adobe Photoshop CS6 в 6 различных точках на поверхности каждого образца пленки, после добавления буферных растворов с pH 2,2; 5; 6; 7; 8; 10; 12 и 14. Фотографии образцов пленок были сделаны с помощью смартфона iPhone 11 с использованием дневного освещения (6500 К).

3. Результаты и обсуждение

Изменение эксплуатационных свойств пленок, содержащих антоцианы, зависит от физических или химических взаимодействий между биополимерами и экстрактами, влияющими на их структуру и, следовательно, функциональность [12]. В свою очередь, взаимодействие между биополимерами и антоцианами зависит от природы, химических свойств и концентрации как полимера, так и экстракта, а также от структурных свойств активных компонентов, включая стереохимию, кислородопроницаемость и конформационную гибкость. Поэтому введение антоцианов может повлиять на толщину, цвет, непрозрачность, растворимость, паропроницаемость, прочность на разрыв, удлинение на разрыв и т. д.

В работе были получены биокомпозитные пленки на основе смеси казеината натрия и агар-агара с различным содержанием водной вытяжки антоцианов черной моркови (Рисунок 1).

Толщина пленки является важным параметром, который напрямую влияет на механическую прочность, паропроницаемость и прозрачность [13]. Толщина пленок практически не зависела от содержания антоцианов (Таблица 1). Похожий результат наблюдался в работе [14], где введение антоцианов клитории тройчатой (*Clitoria ternatea*) и резазурина в пленки на основе желатина не привело к изменению их толщины. С другой стороны, при добавлении антоцианов черного или фиолетового баклажана в количестве 2–3 масс.% в пленки на основе хитозана толщина пленок увеличилась на 5–20% [13]. Вероятно, на толщину пленок оказывают влияние состав матрицы, вид и концентрация антоциана.

Влагосодержание пленок также не зависело от содержания антоцианов (Таблица 1). В работе [14] включение антоцианов значительно увеличило содержание влаги в желатиновых пленках. Это объясняется гидрофильной природой

¹ ГОСТ 4819.2–2016 «Реактивы и особо чистые вещества. Методы приготовления буферных растворов». Москва: Стандартинформ, 2018. — 17 с.

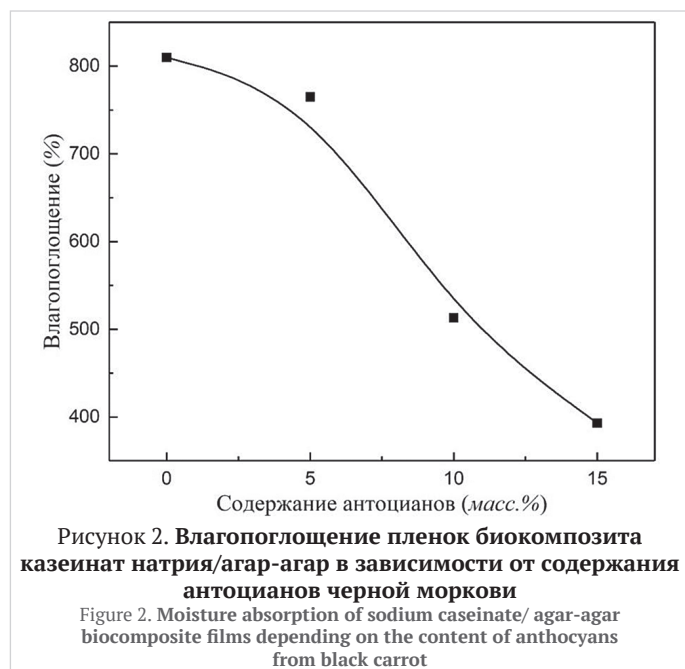
антоцианов, которые увеличивают сродство пленок к воде, улучшая гигроскопические характеристики. С другой стороны, антоцианы могут замещать молекулы воды, изменять характер биополимерной сетки внутри пленок, тем самым уменьшая их способность задерживать воду [15].

Таблица 1. Толщина и влагосодержание пленок биокомпозита казеинат натрия/агар-агар в зависимости от содержания антоцианов черной моркови

Table 1. Thickness and moisture content of sodium caseinate/ agar-agar biocomposite films depending on the content of anthocyanins from black carrot

Содержание антоцианов, масс. %	Толщина, мм	Влагосодержание, %
0	0,1031	9,64
5	0,0953	9,96
10	0,0973	9,68
15	0,0966	10,17

Далее было измерено влагопоглощение пленок в зависимости от содержания антоцианов (Рисунок 2).



Из Рисунка 2 следует, что пленки с высоким содержанием антоцианов обладают меньшей гигроскопичностью. Это может быть связано это с тем, что антоцианы черной моркови, в частности ацилированные производные цианидина, демонстрируют устойчивость к нуклеофильным атакам со стороны воды за счет ацильного фрагмента, в результате чего антоцианы дольше сохраняют свою структуру, а пленки хуже поглощают влагу из воздуха [16].

Тем не менее растворимость пленок в воде не изменяется значительно при введении антоцианов (Рисунок 3) и составляет в среднем 35–40%. Вероятно, растворимость пленок биокомпозита больше зависит от состава матрицы. Агар-агар имеет температуру растворения выше 35 °C, за счет чего пленка сохраняет большую часть своей массы даже при воздействии большого количества воды комнатной температуры в течение длительного времени (60 мин). В работе [17] добавление и увеличение содержания агар-агара в пленках на основе смеси желатина и агар-агара привели к снижению растворимости с 62,12% до 20,85% при соотношении желатин/агар-агар 1:1.

С другой стороны, паропроницаемость пленок биокомпозита значительно увеличивалась с повышением содержания антоцианов черной моркови (Рисунок 4).

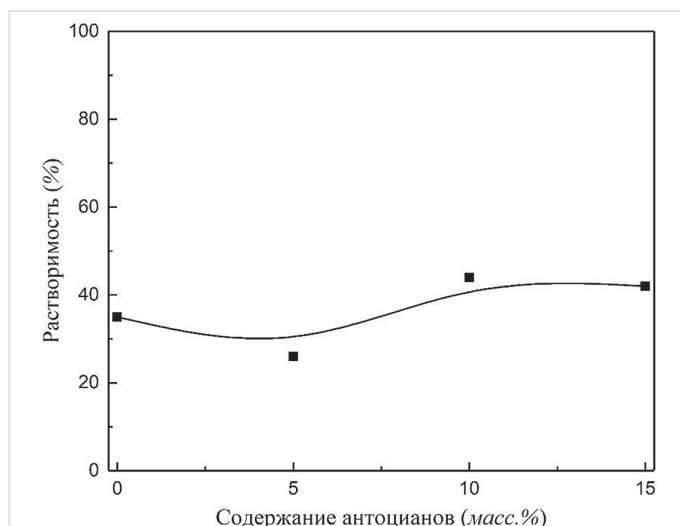


Рисунок 3. Растворимость пленок биокомпозита казеинат натрия/агар-агар в зависимости от содержания антоцианов черной моркови

Figure 3. Solubility of sodium caseinate/ agar-agar biocomposite films depending on the content of anthocyanins from black carrot

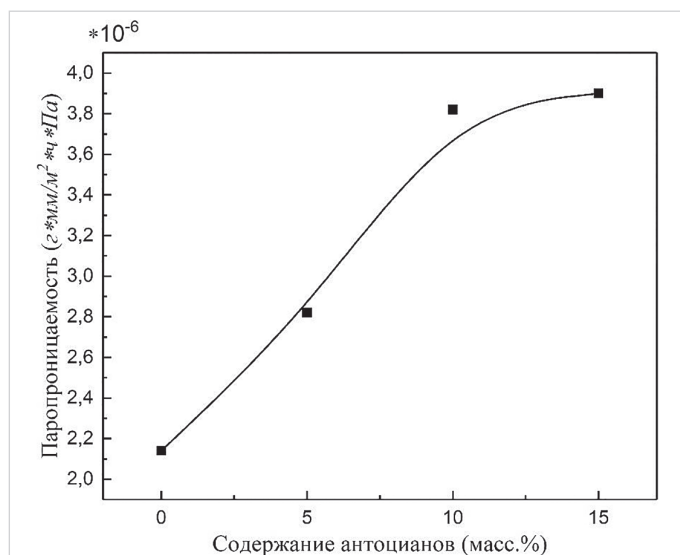


Рисунок 4. Паропроницаемость пленок биокомпозита казеинат натрия/агар-агар в зависимости от содержания антоцианов черной моркови

Figure 4. Water vapor permeability of sodium caseinate/ agar-agar biocomposite films depending on the content of anthocyanins from black carrot

Повышение паропроницаемости в данном случае может быть связано с использованием гидрофильного экстракта, который образует с биополимерами и пластификатором преимущественно водородные связи, тем самым снижая межмолекулярные взаимодействия в полимерной сети. Снижение взаимодействия между цепями полимеров, образование пор и трещин в матрице приводят к интенсификации проницаемости паров воды через пленку [18]. В работе [19] авторы объясняют снижение паропроницаемости повышением гидрофобности пленки при добавлении антоцианов, а также усилением межмолекулярных взаимодействий между полимерной матрицей и антоцианами за счет нековалентных связей. Также уменьшение паропроницаемости при добавлении антоцианов может быть связано со снижением свободного объема в матрице биокомпозита [14].

Прозрачность пленок биокомпозита казеинат натрия/агар-агар снижалась при добавлении и увеличении концентрации антоцианов черной моркови в составе (Рисунок 5).

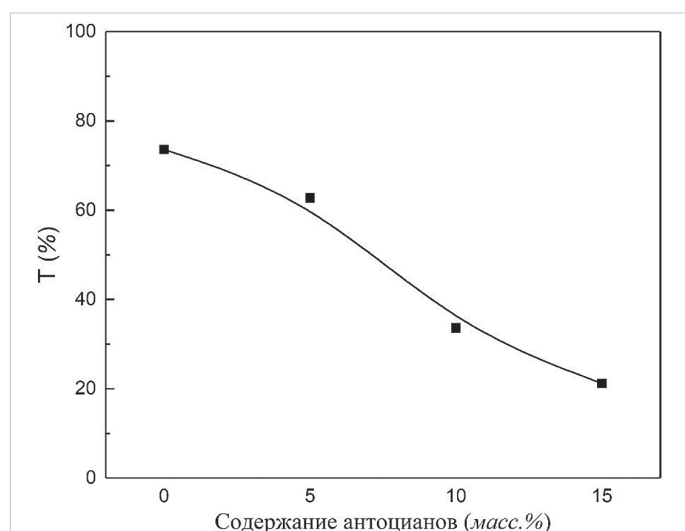


Рисунок 5. Прозрачность пленок биокомпозиата казеинат натрия/агар-агар в зависимости от содержания антоцианов черной моркови

Figure 5. Transparency of sodium caseinate/ agar-agar biocomposite films depending on the content of anthocyanins from black carrot

Прозрачность является важным параметром, определяющим способность пленки к пропусканию света [13]. УФ-видимое излучение может оказывать негативное влияние на хранение продуктов питания. Содержание антоцианов напрямую влияет на изменение коэффициента прозрачности. Так, 15 масс.% антоцианов приводит к снижению прозрачности больше чем в 3 раза. Уменьшение прозрачности пленок может быть связано с поглощением антоцианами видимого излучения. Наличие цвета позволяет определить состояние антоцианов в пленке. Поскольку в пленке маловероятны структурные превращения антоцианов в бесцветные псевдо-базовые формы, потеря цвета пленок может сигнализировать о деградации антоцианов под влиянием внешней среды [20]. Включение антоцианов улучшает барьерные свойства пленок для УФ-видимого света, что указывает на то, что эти материалы могут защитить продукты питания и уменьшить порчу, вызванную ультрафиолетовым излучением [12]. Это происходит в результате изменения кристаллической структуры пленок под действием экстрактов, что вызывает рассеивание и отражение света, так что коэффициент пропускания снижается.

Перед приготовлением пленок было определено изменение цвета антоцианов в зависимости от pH среды (Рисунок 6). Согласно Рисунку 6, визуально идентифицируется изменение цвета антоцианов при изменении pH с 5 до 7. Согласно литературным данным, именно такой переход pH происходит при порче мясных продуктов [21]. Черная морковь богата ацилированными антоцианами на основе цианидина, который составляет 25–50% от общего содержания фенолов [22]. Поскольку эти соединения более устойчивы к колебаниям температуры и pH (нейтральных или слабокислых средах), они являются подходящими для изготовления pH-чувствительной упаковки. Цветовые сдвиги антоцианов черной моркови были связаны со структурой антоцианов, которая превращалась из катиона флавилия (красный цвет) в кислых условиях в фиолетовое хиноидное ангидроснование, а также в темно-синее ионизированное ангидроснование при pH 7 и 8 [9]. Катион флавилия как первая химическая структура способствует возникновению красного цвета (pH 1–3) и в конечном счете образованию халкона, который приводит к появлению зеленовато-желтого цвета при pH 8 [23]. Антоцианы более устойчивы в кислых, чем в щелочных растворах [24]. В кислых условиях антоцианы образуют 4 вещества: бесцветные халконы, бесцветное псевдооснование карбинола, красные флавоноидные катионы и голубую хиноидную щелочь. Четыре вещества создают динамическое равновесие. При увеличении щелочности раствора начинается нуклеофильная реакция, в результате которой между красными катионами флавоноидов и водой образуется бесцветный карбинол.



Рисунок 6. Цвет антоцианов черной моркови в зависимости от pH среды. Слева направо: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13 и 14 pH

Figure 6. Color of anthocyanins from black carrot depending on the environmental pH. From left to right: pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13 and 14

На Рисунке 7 представлены фотографии пленок с различным содержанием антоцианов 0–15 масс.%, с шагом 5 масс.%, помещенные в буферные растворы с различным значением pH. В кислых средах пленки приобретают красный оттенок. Это связано со структурными превращениями

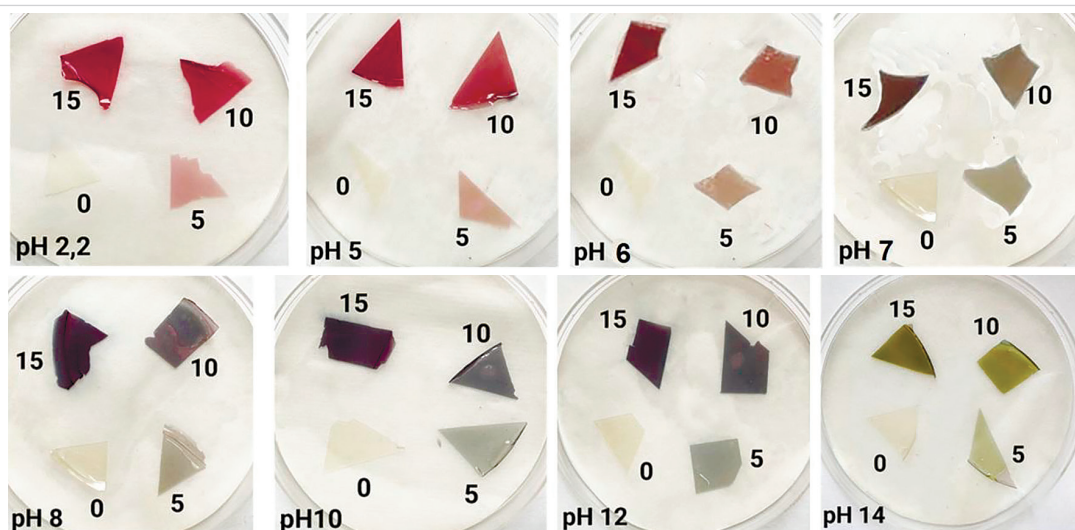


Рисунок 7. Пленки биокомпозиата казеинат натрия/агар-агар с различным содержанием антоцианов черной моркови, помещенные в буферные растворы с различным pH

Figure 7. Sodium caseinate/ agar-agar biocomposite films with different content of anthocyanins from black carrot placed into buffer solutions with different pH

антоцианов, так как в кислой среде они переходят в форму катионов флавоноидов [8]. В нейтрально-щелочных средах за окраску начинают отвечать хиноидные формы, которые придают пленкам сине-пурпурный цвет. При pH = 14 происходит еще один переход, при котором антоцианы принимают структуру халконов, которая дает желто-зеленый оттенок. Таблица 2 содержит в себе данные о показателях L* (светлота), a* (красно-зеленый), b* (желто-голубой). Введение антоцианов приводит к изменению показателей a и b, а также к значительному снижению показателя светлоты пленки.

Согласно Рисунку 7, можно сделать вывод, что изменение цвета в пленках с содержанием антоцианов 5–10 масс.% легче идентифицируется визуально, чем изменение цвета пленок с содержанием антоцианов 15 масс.%. Похожие результаты наблюдаются в работе [24], где пленка с 10 масс.% содержанием антоцианов пурпурных томатов показала наиболее заметное изменение цвета по сравнению с образцами с содержанием антоцианов 30 и 50 масс.%.

4. Заключение

В ходе проделанной работы были получены образцы пленок на основе биополимерной матрицы казеинат натрия/агар-агар с различным содержанием антоцианов черной моркови. Было установлено, что добавление антоцианов не оказывает влияния на толщину, влагосодержание и растворимость пленок биокомпозита. С другой стороны, введение и увеличение содержания антоцианов приводит к снижению влагопоглощения и прозрачности пленок. Тем не менее, паропроницаемость пленок значительно увеличилась при добавлении антоцианов, что может свидетельствовать о снижении межмолекулярного взаимодействия биополимеров или об образовании пор и трещин в матрице при добавлении и увеличении концентрации антоцианов. Изменение цвета пленки в зависимости от pH среды визуально заметно даже при содержании антоцианов черной моркови в пленке 5 масс.%. Необходимы дальнейшие исследования биокомпозитов для определения механических, термических, антиоксидантных и газобарьерных свойств, а также тестирование pH-чувствительных пленок на реальных пищевых продуктах.

Таблица 2. Цветовые показатели L* (светлота), a* (красно-зеленый), b* (желто-голубой) пленок биокомпозита казеинат натрия/агар-агар в зависимости от содержания антоцианов черной моркови и pH среды
Table 2. Color indicators L* (lightness), a* (red-green), b* (yellow-blue) of sodium caseinate/ agar-agar biocomposite films depending on the content of anthocyanins from black carrot and environmental pH

рН среды/ Содержание антоцианов, масс.%	0	5	10	15
L				
2.2	88	68	41	35
5		68	45	35
6		64	48	32
7		63	50	26
8		64	36	12
10		67	39	12
12		60	30	14
14		75	49	35
a				
2.2	-1	25	55	58
5		17	45	52
6		15	29	34
7		1	8	19
8		2	9	16
10		-3	2	13
12		-3	3	15
14		-4	-3	1
b				
2.2	16	15	24	36
5		19	21	25
6		20	22	22
7		19	19	14
8		15	-4	-4
10		8	-2	-6
12		7	-1	-4
14		26	47	46

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК/ REFERENCES

- Alizadeh-Sani, M., Mohammadian, E., Rhim, J.-W., Jafari, S.M. (2020). pH-sensitive (halochromic) smart packaging films based on natural food colorants for the monitoring of food quality and safety. *Trends in Food Science and Technology*, 105, 93–144. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.014>
- Davies, D. T., Law, A. J. R. (1977). An improved method for the quantitative fractionation of casein mixtures using ion-exchange chromatography. *Journal of Dairy Research*, 44(2), 213–221. <https://doi.org/10.1017/S0022029900020148>
- Atarés, L., Bonilla, J., Chiralt, A. (2010). Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 678–687. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.05.018>
- Belyamani, I., Prochazka, F., Assezat, G. (2014). Production and characterization of sodium caseinate edible films made by blown-film extrusion. *Journal of Food Engineering*, 121(1), 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.019>
- Kim, H.-J., Roy, S., Rhim, J.-W. (2022). Gelatin/agar-based color-indicator film integrated with *Clitoria ternatea* flower anthocyanin and zinc oxide nanoparticles for monitoring freshness of shrimp. *Food Hydrocolloids*, 124, Article 107294. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107294>
- Wu, Y., Geng, F., Chang, P.R., Yu, J., Ma, X. (2009). Effect of agar on the microstructure and performance of potato starch film. *Carbohydrate Polymers*, 76(2), 299–304. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.031>
- Tian, H., Xu, G., Yang, B., Guo, G. (2011). Microstructure and mechanical properties of soy protein/agar blend films: Effect of composition and processing methods. *Journal of Food Engineering*, 107(1), 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.008>
- Wang, Y., Zhang, J., Zhang, L. (2021). Anthocyanin-dietary proteins interaction and its current applications in food industry. *Food Reviews International*. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2012189> (unpublished data)
- Ebrahimi Tirtashi, F., Moradi, M., Tajik, H., Forough, M., Ezati, P., Kusiwand, B. (2019). Cellulose/chitosan pH-responsive indicator incorporated with carrot anthocyanins for intelligent food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 920–926. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.148>
- He, Z., Xu, M., Zeng, M., Qin, F., Chen, J. (2016). Interactions of milk α - and β -casein with malvidin-3-O-glucoside and their effects on the stability of grape skin anthocyanin extracts. *Food Chemistry*, 199, 314–322. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.035>
- Lashkari, H., Halabinejad, M., Rafati, A., Namdar, A. (2020). Shelf life extension of veal meat by edible coating incorporated with Zataria multiflora essential oil. *Journal of Food Quality*, 2020, Article 8871857. <https://doi.org/10.1155/2020/8871857>
- de Oliveira Filho, J. G., Braga, A. R. C., de Oliveira, B. R., Gomes, F. P., Moreira, V. L., Pereira, V. A. C. et al. (2021). The potential of anthocyanins in smart, active, and bioactive eco-friendly polymer-based films: A review. *Food Research International*, 142, Article 110202. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110202>
- Yong, H., Wang, X., Zhang, X., Liu, Y., Qin, Y., Liu, J. (2019). Effects of anthocyanin-rich purple and black eggplant extracts on the physical,

- antioxidant and pH-sensitive properties of chitosan film. *Food Hydrocolloids*, 94, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.012>
14. Rawdkuen, S., Faseha, A., Benjakul, S., Kaewprachu, P. (2020). Application of anthocyanin as a color indicator in gelatin films. *Food Bioscience*, 36, Article 100603. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100603>
 15. Alizadeh Sani, M., Tavassoli, M., Salim, S.A., Azizi-lalabadi, M., McClements, D.J. (2022). Development of green halochromic smart and active packaging materials: TiO₂ nanoparticle-and anthocyanin-loaded gelatin/κ-carrageenan films. *Food Hydrocolloids*, 124, Article 107324. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107324>
 16. Francavilla, A., Joye, I. J. (2020). Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. *Nutrients*, 12(10), Article 2922. <https://doi.org/10.3390/nu12102922>
 17. Mohajer, S., Rezaei, M., Hosseini, S. F. (2017). Physico-chemical and microstructural properties of fish gelatin/agar bio-based blend films. *Carbohydrate Polymers*, 157, 784–793. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.061>
 18. Koosha, M., Hamed, S. (2019). Intelligent Chitosan/PVA nanocomposite films containing black carrot anthocyanin and bentonite nanoclays with improved mechanical, thermal and antibacterial properties. *Progress in Organic Coatings*, 127, 338–347. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.11.028>
 19. Roy, S., Kim, H. -J., Rhim, J. -W. (2021). Effect of blended colorants of anthocyanin and shikonin on carboxymethyl cellulose/agar-based smart packaging film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 305–315. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.162>
 20. Jiang, T., Mao, Y., Sui, L., Yang, N., Li, S., Zhu, Z. et al. (2019). Degradation of anthocyanins and polymeric color formation during heat treatment of purple sweet potato extract at different pH. *Food Chemistry*, 274, 460–470. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.141>
 21. Choi, I., Lee, J.Y., Lacroix, M., Han, J. (2017). Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato. *Food Chemistry*, 218, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.050>
 22. Moradi, M., Tajik, H., Almasi, H., Forough, M., Ezati, P. (2019). A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness. *Carbohydrate Polymers*, 222, Article 115030. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115030>
 23. Moazami Goodarzi, M., Moradi, M., Tajik, H., Forough, M., Ezati, P., Kuswandi, B. (2020). Development of an easy-to-use colorimetric pH label with starch and carrot anthocyanins for milk shelf life assessment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.014>
 24. Li, Y., Wu, K., Wang, B., Li, X. (2021). Colorimetric indicator based on purple tomato anthocyanins and chitosan for application in intelligent packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 174, 370–376. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.182>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Новикова Мария Вячеславовна — кандидат технических наук, младший научный сотрудник, Лаборатория структурной переработки биоресурсов, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 Тел.: +7–812–273–41–08 E-mail: mariazakharova@bk.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4195-0649 * автор для контактов	Mariia V. Novikova, Candidate of Technical Sciences, Research Senior, Laboratory of structural processing of bioresources, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 191014, St. Petersburg, Russia Tel.: +7–812–273–41–08 E-mail: mariazakharova@bk.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4195-0649 * corresponding author
Виролайн Ксения Эдуардовна — студент, Центр Химической Инженерии, Национальный Исследовательский Университет ИТМО 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, 49 Тел.: +7–812–232–37–74 E-mail: ksu.virolainen@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4939-0471	Ksenia E. Virolaine, Student, Center for Chemical Engineering, ITMO University 49, Kronverksky pr., 191014, St. Petersburg, Russia Tel.: +7–812–232–37–74 E-mail: ksu.virolainen@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4939-0471
Нефедов Андрей Дмитриевич — студент, Центр Химической Инженерии, Национальный Исследовательский Университет ИТМО 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, 49 Тел.: +7–812–232–37–74 E-mail: website83@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2529-4829	Andrey D. Nefyodov, Student, Center for Chemical Engineering, ITMO University 49, Kronverksky pr., 191014, St. Petersburg, Russia Tel.: +7–812–232–37–74 E-mail: website83@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2529-4829
Успенская Майя Валерьевна — доктор технических наук, профессор, факультет прикладной оптики, руководитель Центра Химической Инженерии, Национальный Исследовательский Университет ИТМО 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, 49 Тел.: +7–812–232–37–74 E-mail: mv.uspensskaya@itmo.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2510-2639	Mayya V. Uspenskaya, Doctor of Technical Sciences, Professor, Faculty of Applied Optics, Head of the Center for Chemical Engineering, ITMO University 49, Kronverksky pr., 191014, St. Petersburg, Russia Tel.: +7–812–232–37–74 E-mail: mv.uspensskaya@itmo.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2510-2639
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.

