

Volume 5, Issue 1, 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

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 28.03.2022.
Дата выхода в свет 30.03.2022.
Тираж 300 экз. Заказ № 341.



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 28.03.2022.

Released from press 30.03.2022.

Circulation — 300 copies. Order № 341.



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

Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В., Ободеева О. Н. ВОЗВРАТНЫЕ ОТХОДЫ ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА — НОВЫЙ ВИД СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДИСТИЛЛЯТОВ (ЧАСТЬ IV. СПИРТНОЙ НАПИТОК)	4
Djemaа Megdoud, Mohand S. Galouz, Soufyane Rahal, Salem Benamara PRELIMINARY EVALUATION OF COLOR STABILITY OF DATE FRUIT TABLETS	10
Гумеров Т. Ю., Усманова А. Р., Мингалеева З. Ш., Тарасова Е. Ю. ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗЕРНОВОГО ПРОДУКТА «ЗЛАКОВЫЙ БАТОНЧИК»	14
Корниенко В. Ю., Минаев М. Ю. ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ.	23
Кузьмина Е. И., Ганин М. Ю., Свиридов Д. А., Егорова О. С., Шилкин А. А., Акбулатова Д. Р. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОФЕ	30
Зайцева М. В., Сураева Н. М., Самойлов А. В. ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СМЕСИ АСПАРТАМА И СОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ОСНОВЕ БИОТЕСТА	41
Мягконосов Д. С., Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Овчинникова Е. Г. ПРОТЕОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩИХ ФЕРМЕНТОВ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	47
Ивашковский С. Н., Каспарян А. А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ СТАВОК ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ В РОССИИ И В США	55
Казанцев Е. В., Кондратьев Н. Б., Руденко О. С., Петрова Н. А., Белова И. А. ФОРМИРОВАНИЕ ПЕНООБРАЗНОЙ СТРУКТУРЫ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ	64
Полубесова М. А., Новикова (Захарова) М. В., Рябухин Д. С. ЭНТОМОФАГИЯ: БЕЗОПАСНО ЛИ УПОТРЕБЛЯТЬ В ПИЩУ НАСЕКОМЫХ?	70

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-4-9>

Поступила 08.11.2021

Поступила после рецензирования 05.02.2022

Принята в печать 11.02.2022

© Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В., Ободеева О. Н., 2022

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

Научная статья

Open access

ВОЗВРАТНЫЕ ОТХОДЫ ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА — НОВЫЙ ВИД СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДИСТИЛЛЯТОВ (ЧАСТЬ IV. СПИРТНОЙ НАПИТОК)

Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В.*, Ободеева О. Н.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

дистиллят, продолжительность выдержки, летучие компоненты, купажи́рование, органолептическая характеристика

АННОТАЦИЯ

Дистиллят составляет основу купажа спиртного напитка. Выдержка дистиллята необходима для стабилизации физико-химического состава и достижения определенных вкусо-ароматических характеристик. Умягченная вода является вторым по объему ингредиентом купажа спиртных напитков. Минеральный состав воды оказывает влияние на потребительские свойства напитка. Цель данной работы — выявление факторов, влияющих на качественные показатели спиртного напитка из нового вида сырья. Объектами исследования служили: образцы дистиллятов из отходов хлебопекарного производства, промышленные партии умягченной воды, опытные купажи спиртного напитка. В объектах исследования определяли объемную долю этилового спирта, органолептические характеристики и массовую концентрацию основных летучих компонентов методом газовой хроматографии. Установлено, что при выдержке дистиллятов наиболее интенсивно протекают окислительные процессы в период от 10 до 20 суток. Это привело к повышению концентрации ацетальдегида на 6–27%, в зависимости от вида сырья. Одновременно отмечалось повышение массовой концентрации этилацетата от 15 до 30%, а также суммарной концентрации этил-капроата, этил-капрата, этил-каприлата на 27–38%. Выявлено влияние крепости спиртного напитка на его органолептическую характеристику. Исследован минеральный состав образцов умягченной воды, подготовленной способом ионного обмена и обратного осмоса. На основании анализа вкусо-ароматических профилей спиртных напитков показано влияние концентрации и соотношения минеральных солей воды на качественные показатели продукции. Рекомендованы оптимальная длительность выдержки дистиллята перед купажи́рованием — не более двадцати суток, крепость купажа — 40–42% об. Обоснована необходимость использования для купажи́рования умягченной воды, подготовленной способом обратного осмоса или ионного обмена с контролируемым содержанием ионов кальция (не более 9 мг/дм³), натрия (не более 60 мг/дм³), сульфатов (не более 65 мг/дм³) и гидрокарбонатов (не более 80 мг/дм³).

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № 0585–2019–001 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 08.11.2021

Accepted in revised 05.02.2022

Accepted for publication 11.02.2022

© Krikunova L. N., Dubinina E. V., Obodeeva O. N., 2022

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

Original scientific article

Open access

RETURNABLE BAKING WASTE — A NEW TYPE OF RAW MATERIALS FOR DISTILLATES PRODUCTION (PART IV. SPIRIT DRINK)

Ludmila N. Krikunova, Elena V. Dubinina*, Olga N. Obodeeva

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

KEY WORDS:

distillate, storage duration, volatile components, blending, organoleptic characteristics

ABSTRACT

A distillate is a basis for the blend of a spirit drink. Distillate ripening is necessary to stabilize the physicochemical composition and achieve certain flavor characteristics. Softened water is the second ingredient of the spirit drink blend in terms of volume. The mineral composition of water influences the consumer properties of a drink. The aim of this work is to reveal factors that influence quality indicators of a spirit drink from a new type of a raw material. The objects of the research were the samples of the distillate from baking waste, commercial batches of softened water and experimental blends of a spirit drink. The authors determined the volume fraction of ethanol, organoleptic characteristics and mass concentration of the main volatile components by the gas chromatography method in the objects of the research. It was established that upon distillate ripening, the most intensive oxidative processes occurred in a period of 10 to 20 days. This led to an increase in the acetaldehyde concentration by 6–27% depending of a raw material type. At the same time, an increase in the mass concentration of ethyl acetate by 15 to 30%, as well as the total concentration of ethyl caproate, ethyl caprate, ethyl caprylate by 27–38% was observed. An effect of the strength of the spirit drink on its organoleptic characteristics was revealed. The mineral composition of the soften water samples prepared by the method of ion exchange and reverse osmosis was studied.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Крикунова, Л.Н., Дубинина, Е.В., Ободеева, О. Н. (2022). Возвратные отходы хлебопекарного производства — новый вид сырья для производства дистиллятов (Часть IV. Спиртной напиток). *Пищевые системы*, 5(1), 4–9. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-4-9>

FOR CITATION: Krikunova, L.N., Dubinina, E.V., Obodeeva, O.N. (2022). Returnable baking waste — a new type of raw materials for distillates production (Part IV. Spirit drink). *Food systems*, 5(1), 4–9. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-4-9>

Based on the analysis of the taste and aroma profiles of spirit drinks, an effect of the concentration and ratio of mineral salts in water on product quality characteristics was shown. The authors recommend the optimal duration of distillate ripening before blending — not more than 20 days, the blend strength 40–42% vol. The necessity to use soft water prepared by the method of ion exchange or reverse osmosis with the controlled content of ions of calcium (not more than 9 mg/dm³), sodium (not more than 60 mg/dm³), sulfates (not more than 65 mg/dm³) and hydrogen carbonates (not more than 80 mg/dm³) for blending was substantiated.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. 0585–2019–001 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

При производстве спиртных напитков одним из ключевых этапов является купажирование. В состав купажа, как правило, входят: дистиллят, умягченная вода и сахаросодержащий продукт (при необходимости). В зависимости от вида использованного сырья, технологических схем его переработки и конструктивных особенностей дистилляционного оборудования [1], дистилляты могут существенно различаться по составу и содержанию летучих компонентов [2,3]. Они составляют основу купажа спиртного напитка, их физико-химический состав оказывает определяющее влияние на органолептический профиль продукта. В зависимости от качественных характеристик дистиллята, его используют в купаже спиртного напитка как непосредственно после получения, так и после выдержки [4]. При выдержке в результате сложных физико-химических процессов трансформации компонентов дистиллята он приобретает определенные вкусо-ароматические характеристики, необходимые для получения высококачественного напитка. Продолжительность выдержки, как показано в ряде работ, зависит от вида использованного сырья, технологических режимов его переработки, способов и режимов дистилляции [5–7]. Известно, что для дистиллятов, полученных из фруктового сырья, продолжительность выдержки перед купажированием может составлять от 10 дней до нескольких месяцев.

Умягченная вода является вторым по объему ингредиентом купажа спиртных напитков. К минеральному составу воды, используемой в технологии приготовления спиртных напитков на основе дистиллятов [8], предъявляются определенные требования. В соответствии с действующей нормативной документацией умягченная (исправленная) вода при использовании дистиллятов из крахмалсодержащего сырья должна иметь жесткость не более 0,2 °Ж, а для естественной неумягченной воды этот показатель должен составлять не более 1,0 °Ж.

Вода, поступающая на предприятие из различных источников, включая собственные артезианские скважины, чаще всего имеет жесткость свыше 1,0 °Ж и должна быть подвергнута умягчению одним из принятых в настоящее время способов. Наиболее распространенным методом умягчения воды является ионный обмен (катионирование), т. е. обработка при помощи ионообменных смол, загруженных в специальные реакторы (колонны) [9, 10]. Ионный обмен основан на замещении в воде ионов Ca²⁺, Mg²⁺, содержащихся в солях жесткости, на ионы Na⁺ и K⁺. Для этого способа характерны определенные преимущества, заключающиеся в первую очередь в простоте эксплуатации и обслуживания. Основные недостатки ионообменного умягчения воды — необходимость частой регенерации смол с использованием концентрированных сильных неорганических кислот или насыщенного раствора хлорида натрия (поваренной соли), а также ограниченный срок службы. В качестве альтернативного способа водоподготовки часто применяют более современные установки обратноосмотической очистки [11–13]. Обратный осмос представляет собой самый тонкий уровень фильтрации. Мембраны, входящие в состав обратноосмотической установки, служат барьером для всех растворенных

солей, а также для веществ с молекулярным весом более 100 ед. Молекулы воды, наоборот, свободно проходят через мембрану, благодаря чему на выходе создается поток очищенной воды. Удаление растворенных солей составляет 95,0–99,9%. Рабочее давление в обратноосмотической установке обычно варьируется от 5 бар (для солоноватой воды) и до 84 бар (для морской воды). Имея несомненные преимущества перед умягчением воды ионообменным способом, этот метод характеризуется практически полным удалением всех минеральных солей из воды. В то же время известно, что для получения спиртных напитков с высокими органолептическими характеристиками полное удаление солей из воды нежелательно [13,14].

Применение сахаросодержащих продуктов в технологии производства спиртных напитков на основе дистиллятов из крахмалсодержащего сырья (различных видов зерна и солодов) ограничено использованием сахара белого для приготовления колера.

Цель работы заключалась в выявлении факторов, влияющих на качественные показатели спиртного напитка на основе дистиллята из возвратных отходов хлебопекарного производства на стадиях выдержки дистиллята и купажирования.

2. Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны:

- четыре образца дистиллятов: дистиллят из хлеба пшеничного, с использованием для сбраживания расы дрожжей Fermiol (образец 1); дистиллят из хлеба пшеничного, с использованием для сбраживания расы дрожжей Turbo № 24 (образец 2); дистиллят из смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба, в соотношении 1:1, раса дрожжей — Fermiol (образец 3); дистиллят из смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба, в соотношении 1:1, раса дрожжей — Turbo № 24 (образец 4). Все образцы дистиллятов были приготовлены в лабораторных условиях отдела технологии крепких напитков ВНИИПБиВП по разработанному ранее технологическим режимам [15–17];
- две группы образцов опытных купажей спиртного напитка крепостью 40, 42, 45 и 50% об., одна из которых получена с использованием дистиллированной воды, а другая — с применением умягченной воды, подготовленной различными способами — ионообменным и обратноосмотической фильтрацией.

В объектах исследования определяли объемную долю этилового спирта, массовую концентрацию основных летучих компонентов и органолептические характеристики. Состав и концентрацию основных летучих компонентов определяли методом газовой хроматографии с использованием прибора Thermo Trace GC Ultra (Thermo, США) с пламенно-ионизационным детектором. Хроматографическая колонка — HP FFAP: длина 50 м, внутренний диаметр 0,32 мм с толстой пленкой неподвижной фазы 0,5 мкм (ГОСТ 33834–2016¹) Концентрацию летучих компонентов

¹ ГОСТ 33834–2016 «Продукция винодельческая и сырье для ее производства. Газохроматографический метод определения массовой концентрации летучих компонентов». — М.: Стандартинформ, 2016. — 11 с.

выражали в мг/дм³ безводного спирта (мг/дм³ б. с.). Органолептическую оценку дистиллятов и купажей определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 32051–2013². Оценку проводила группа квалифицированных экспертов по 100-балльной системе.

Для обработки результатов исследований использовали статистический метод обработки экспериментальных данных, в ходе которого определяли средние значения из 3–5 измерений, среднеквадратичное отклонение и доверительный интервал [18,19]. В таблицах результаты представлены в виде средних арифметических значений. Обработку экспериментальных данных осуществляли с применением методов математической статистики с помощью программ Excel и Statistica.

3. Результаты и обсуждение

На первом этапе работы было исследовано влияние продолжительности выдержки опытных образцов дистиллятов на трансформацию их физико-химического состава и органолептических характеристик.

Известно, что в процессе выдержки дистиллятов летучие компоненты, благодаря присутствию растворенного кислорода, участвуют в окислительно-восстановительных

реакциях с постепенным изменением вкусо-ароматических свойств, достигая состояния равновесия [20]. Кроме того, высокая концентрация этилового спирта (от 65 до 85% об.) способствует протеканию реакции этерификации с образованием сложных эфиров.

В связи с этим в настоящем разделе работы была исследована динамика трансформации летучих компонентов дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства при их выдержке в стеклянной таре с целью определения оптимальной продолжительности выдержки (отдыха) дистиллятов перед стадией купаживания напитков. Дистилляты выдерживали при температуре от 20 до 25 °С в течение 40 суток в условиях, исключающих воздействие прямых солнечных лучей.

Установлено, что процесс выдержки всех образцов дистиллятов в течение выбранного периода времени характеризовался понижением суммарного содержания ароматизующих летучих компонентов (Таблицы 1, 2), уровень снижения которых варьировался от 10 до 21% от их исходного общего содержания.

Анализ динамики изменения отдельных летучих компонентов дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства в процессе выдержки показал, что в период от 10 до 20 суток интенсивно протекают окислительные про-

Таблица 1. Изменение концентрации основных летучих компонентов дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства в процессе выдержки

Table 1. Changes in concentrations of the main volatile components of distillates from returnable baking waste during ripening

Наименование компонента	Массовая концентрация, мг/дм ³ б. с.									
	Образец 1					Образец 2				
	К 1	О 1.1	О 1.2	О 1.3	О 1.4	К 2	О 2.1	О 2.2	О 2.3	О 2.4
Ацетальдегид	51	62	65	54	49	53	60	67	56	56
Этилацетат	50	55	61	57	58	87	105	105	99	99
Метанол	5	5	4	4	4	6	4	4	4	4
1-пропанол	423	418	415	402	397	492	477	465	443	439
Изобутанол	1092	1078	1027	1020	1008	1467	1406	1386	1373	1354
Изоамилол	2380	2310	2205	2168	2131	2943	2790	2752	2525	2512
Этилкапроат	22	28	30	30	32	38	45	47	48	47
Этилкапрат	35	40	42	42	40	22	27	32	35	33
Этилкаприлат	25	28	32	30	30	35	41	45	60	59
Этиллактат	23	25	32	50	48	25	33	35	68	84
ФЭС	28	28	25	10	10	7	18	23	11	8
Сумма ЛК*	4162	4130	3985	3889	3826	5218	5188	5024	4803	4762

*В данной таблице и далее по тексту при определении суммы летучих компонентов учитывались все идентифицированные летучие компоненты, некоторые из них в иллюстративных материалах не представлены

Таблица 2. Изменение концентрации основных летучих компонентов дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства в процессе выдержки

Table 2. Changes in concentrations of the main volatile components of distillates from returnable baking waste during ripening

Наименование компонента	Массовая концентрация, мг/дм ³ б. с.									
	Образец 3					Образец 4				
	К 3	О 3.1	О 3.2	О 3.3	О 3.4	К 4	О 4.1	О 4.2	О 4.3	О 4.4
Ацетальдегид	81	90	87	85	85	75	79	77	76	80
Этилацетат	80	95	103	92	92	113	125	132	125	125
Метанол	14	13	10	10	10	19	18	17	17	17
1-пропанол	491	480	425	393	380	550	542	527	489	475
Изобутанол	1303	1295	1163	1008	984	1484	1410	1302	1258	1206
Изоамилол	2951	2787	2560	2224	2206	4067	3783	3410	3434	3398
Этилкапроат	30	42	45	45	45	40	50	52	52	53
Этилкапрат	42	50	54	52	53	45	55	60	60	57
Этилкаприлат	29	37	40	40	42	32	40	48	46	46
Этиллактат	25	27	30	54	55	30	32	35	61	63
ФЭС	42	48	47	30	30	48	50	50	40	36
Сумма ЛК*	5128	4997	4609	4175	4108	6563	6245	5749	5697	5611

цессы, о чем свидетельствовало повышение концентрации ацетальдегида на 13–27% в образцах из пшеничного хлеба (образцы 1 и 2) и на 6–11% в образцах из смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба (образцы 3 и 4). Разница в интенсивности протекания окислительных процессов может быть связана с повышенной кислотностью исходного сырья и, как следствие, с более низким значением pH в образцах 3 и 4.

Одновременно в вышеуказанный период выдержки отмечалось увеличение массовой концентрации этилацетата и компонентов энантового эфира (этилкапроата, этилкапрата, этилкаприлата). Так, концентрация этилацетата в образцах 1 и 2 возрастала в среднем на 15–20%, а в образцах 3 и 4 — на 20–30%. Содержание энантовых эфиров повышалось на 27–38%.

Снижение суммарного содержания высших спиртов на протяжении всей выдержки может быть следствием не только окислительных процессов, но и реакции этерификации. Установлено, что при использовании в качестве сырья пшеничного хлеба общее содержание высших спиртов составляло 9–12%, а при применении смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба этот показатель достигал 17–25%. В первом случае, вероятно, снижение было связано с преобладанием окислительных процессов, а во втором — с преобладанием процессов этерификации.

Также отмечено, что при выдержке дистиллятов более 20 суток наблюдалось резкое увеличение концентрации этиллактата при одновременном существенном снижении концентрации фенолэтилового спирта. Известно, что первый компонент может придавать аромату дистиллята посторонний неприятный оттенок скисания. Второй компонент, напротив, отвечает за создание цветочно-медовых оттенков аромата [1,3,22].

Таким образом, анализ данных по изменению концентрации основных летучих компонентов опытных дистиллятов при выдержке показывает, что оптимальный срок выдержки дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства составляет не более 20 суток.

Известно, что на характер и интенсивность аромата и вкуса спиртного напитка оказывает влияние объемная доля этилового спирта (крепость напитка). В связи с этим были приготовлены опытные купажи спиртных напитков на основе дистиллятов, выдержанных в течение двадцати суток, крепостью 40, 42, 45, 50% об. В качестве второго компонента использована дистиллированная вода. Органолептическая оценка приготовленных образцов (Таблица 3) показала, что наиболее ярким ароматом и сбалансированным вкусом обладали образцы напитков, полученные на основе дистиллята из смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба, взятых в соотношении 1:1, с использованием расы дрожжей Turbo № 24 (образец 4). Максимальную дегустационную оценку получили образцы с крепостью 40 и 42% об.

Таблица 3. Влияние крепости на органолептическую оценку спиртного напитка

Table 3. Effect of strength on the organoleptic evaluation of a spirit drink

Образец дистиллята	Дегустационная оценка, балл			
	40% об.	42% об.	45% об.	50% об.
О 1.2	8,0	8,1	8,0	7,9
О 2.2	8,1	8,1	8,0	8,0
О 3.2	8,2	8,2	8,1	8,0
О 4.2	8,3	8,3	8,2	8,1

На практике при производстве спиртных напитков в составе купажа не применяют дистиллированную воду ввиду того, что в ней полностью отсутствуют минеральные вещества. Известно, что для получения гармоничного и сбалансированного вкуса спиртного напитка необходимо наличие

в умягченной воде определенного количества катионов и анионов [22]. В связи с этим на следующем этапе работы были приготовлены купажи спиртного напитка на основе дистиллята О 4.2 с использованием промышленных образцов воды, полученной различными способами. Минеральный состав воды приведен в Таблице 4.

Установлено, что минеральный состав умягченной воды зависит от способа умягчения. Образцы воды, полученной методом ионного обмена, содержали существенно более высокие концентрации минеральных веществ, и их значения варьировались в широких пределах. Концентрация кальция во всех образцах умягченной воды находилась в пределах рекомендованных значений, обеспечивающих стабильность спиртных напитков при хранении [23]. Однако при обработке ионообменным способом этот показатель в 4–6 раз превышал значения в образцах, полученных с использованием обратного осмоса.

Таблица 4. Влияние способа водоподготовки на минеральный состав умягченной воды

Table 4. Effect of water treatment on the mineral composition of softened water

Наименование катионов и анионов	Массовая концентрация катионов и анионов, мг/дм ³	
	Ионный обмен	Обратный осмос
Ca ²⁺	2,8–8,9	<0,5–1,6
K ⁺	1,2–3,2	<0,5–1,0
Mg ²⁺	0,7–3,2	<0,5
Na ⁺	56,2–255,1	2,8–8,2
Cl ⁻	7,6–56,8	<0,5–2,8
SO ₄ ²⁻	36,2–310,1	<0,5–1,3
HCO ₃ ⁻	43,8–258,6	9,8–20,7

Содержание натрия варьировалось в широком диапазоне. Установлено, что в некоторых образцах концентрация натрия превышала гигиенический норматив для питьевой воды в 1,3 раза. Эти образцы отличались также повышенным содержанием сульфатов, которые могут создавать горечь во вкусе спиртного напитка, а также провоцируют образование осадков [14]. Присутствие высокой концентрации гидрокарбонатов в образцах, подготовленных с использованием ионного обмена (свыше 240 мг/дм³), может отрицательно сказаться на органолептической оценке спиртного напитка. Имеются сведения о наличии горечи и грубых вкусовых оттенков у спиртных напитков при использовании воды с повышенной концентрацией гидрокарбонатов [12].

Для приготовления купажей спиртного напитка с выбранными кондициями (42% об.) были использованы четыре образца воды, подготовленной ионообменным способом (ИО 1, ИО 2, ИО 3, ИО 4), и один образец воды, умягченной с применением обратного осмоса (ОО 1), так как все образцы этой группы имели практически одинаковый минеральный состав. Среди образцов, подготовленных с использованием ионного обмена, отобрали воду с минимальным содержанием солей, средним и максимальным. Суммарная концентрация минеральных веществ (минерализация) в отобранных образцах воды составляла 853,8 мг/дм³, 593,1 мг/дм³, 343,2 мг/дм³, 212,9 мг/дм³, 26,3 мг/дм³ соответственно для образцов ИО 1, ИО 2, ИО 3, ИО 4 и ОО 1. При этом особое внимание было уделено содержанию катионов натрия, а также сульфатов и гидрокарбонатов (Таблица 5).

Установлено, что доля катионов натрия во всех образцах колеблется в довольно узких пределах — от 26 до 31%. Наиболее значительный разброс между образцами был характерен для сульфатов — от 3% в образце ОО 1 (обратный осмос) до 35% в образце ИО 1 с максимальной минерализацией, а также для гидрокарбонатов — от 30% до 56%.

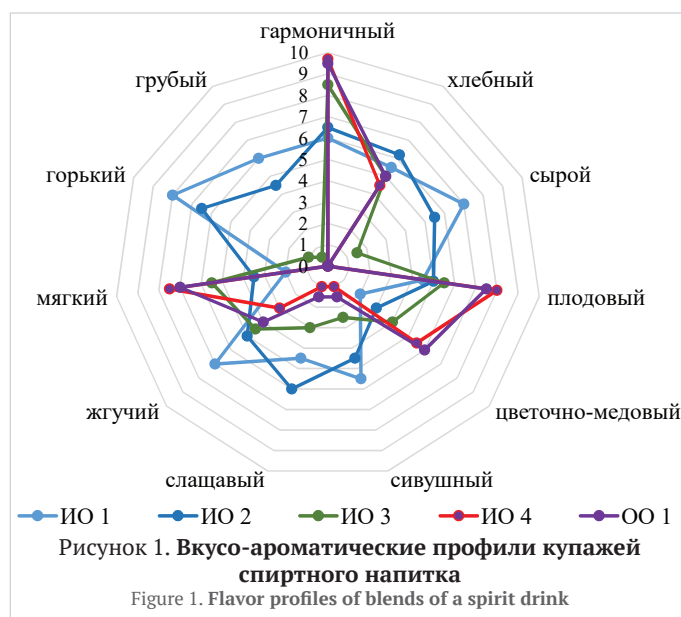
Таблица 5. Солевой состав умягченной воды
Table 5. Salt composition of softened water

Образец воды	Содержание, % от общей минерализации					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
ИО 1	1	менее 1	30	3	35	30
ИО 2	менее 1	менее 1	28	15	4	52
ИО 3	менее 1	менее 1	30	17	11	41
ИО 4	3	менее 1	26	11	29	35
ОО 1	менее 1	менее 1	31	11	3	56

С использованием отобранных образцов воды и дистиллята О 4.2 приготовлены четыре купажа спиртного напитка и проведена их органолептическая оценка. На основании полученных данных построены вкусо-ароматические профили (Рисунок 1). Представленный графический материал наглядно демонстрирует влияние концентрации и соотношения минеральных солей умягченной воды на качественные показатели готового напитка.

Установлено, что использование в купаже спиртного напитка воды с относительно высокой минерализацией (более 300 мг/дм³), содержащей ионы Na⁺ и SO₄²⁻ более 30% от всех минеральных веществ, значительно ухудшает органолептические показатели спиртного напитка, следовательно, снижает его потребительские свойства.

Наиболее высокими органолептическими показателями обладали опытные образцы спиртного напитка, в состав купажа которых входила умягченная вода ИО 4 и ОО 1 с минимальным содержанием ионов натрия. Для воды, прошедшей катионирование, концентрация ионов натрия — не более 60 мг/дм³. Причем купаж напитка с водой, умягченной способом обратного осмоса, несколько уступал первому по интенсивности плодовых оттенков в аромате, а во вкусе был более жгучий. Выявленные отличия обусловлены тем, что присутствие катионов Na⁺ в указанной концентрации, вероятно, способствует гармонизации вкусо-ароматических характеристик спиртного напитка.



4. Выводы

В результате исследования выявлены значимые факторы, влияющие на формирование потребительских свойств спиртного напитка на основе дистиллята из возвратных отходов хлебопекарного производства — длительность выдержки дистиллята, объемная доля этилового спирта в напитке, способ подготовки и минеральный состав умягченной воды. Установлено, что длительность выдержки дистиллята перед купажированием не должна превышать двадцати суток, крепость купажа — 40–42% об.; выявлено, что для купажирования необходимо использовать умягченную воду, подготовленную способом обратного осмоса или ионного обмена с контролируемым содержанием ионов кальция (не более 9 мг/дм³), натрия (не более 60 мг/дм³), сульфатов (не более 65 мг/дм³) и гидрокарбонатов (не более 80 мг/дм³).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Oganesyants, L.A., Peschanskaya, V.A., Krikunova, L.N., Dubinina, E.V. (2019). Research of technological parameters and criteria for evaluating distillate production from dried Jerusalem artichoke. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 11(2), 187–198. <https://doi.org/10.34302/crpfst/2019.11.2.15>
- Егорова, Е.Ю., Мороженко, Ю.В. (2018). Методические подходы к разработке и оценке качества новых напитков группы «дистилляты». Часть 2. Выбор сырья. *Ползуновский вестник*, 2, 17–21. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.02.004>
- Awad, P., Athés, V., Decloux, M.E., Ferrari, G., Snackers, G., Raquenaud, P. et al. (2017). The evolution of volatile compounds during the distillation of cognac spirit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(35), 7736–7748. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02406>
- Pietruszka, M., Szopa, J. St. (2014). Agricultural distillates from Polish varieties of rye. *Czech Journal of Food Sciences*, 32(4), 406–411. <https://doi.org/10.17221/490/2013-CJFS>
- Lea, A.G.H., Piggott, J.R. (2003). *Fermented Beverage Production*. Springer US: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2003. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0187-9>
- Чурсина, О.А., Легашева, Л.А., Простак, М.Н. (2019). Влияние регулируемых параметров выдержки коньячных дистиллятов на процессы их созревания. *Магарач. Виноделие и виноградарство*, 21(1(107)), 70–74.
- Tešević, V., Nikićević, N., Jovanovic, A., Djoković D., Vujisić, L., Vučković, I. et al. (2005). Volatile components from old plum brandies. *Food Technology and Biotechnology*, 43(4), 367–372.
- Трофимченко, В.А., Севостьянова, Е.М., Осипова, П.В., Преснякова, О.П. (2019). Критерии оценки подготовленной воды при производстве плодовых водок. *Пиво и напитки*, 4, 10–14. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2019-10011>
- Рябчиков, Б.Е. Современная водоподготовка. М.: ДеЛи плюс, 2013, 679 с.
- Поляков, В.А., Абрамова, И.М., Морозова, С.С., Медриш, М.Э., Устинова, Е.В. (2015). Исправленная вода для приготовления высокосортных водок. *Производство спирта и ликероводочных изделий*, 1, 20–22.
- Даудова, Т.Н., Ахмедов, М.Э., Демирова, А.Ф., Даудова, Л.А. (2014). Новый способ водоподготовки для производства алкогольных напитков. *Пиво и напитки*, 4, 12–13.
- Липницки, Й., Ожье, Ж., Штефан Леманн, Ш. (2018). Опыт применения обратного осмоса в качестве четвертой стадии очистки. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*, 8(128), 30–35.
- Севостьянова, Е.М., Осипова, В.П., Хорошева, Е.В., Ремнева, Г.А. (2017). Влияние технологической воды на органолептические характеристики крепких напитков. *Пиво и напитки*, 3, 40–43.
- Ермолаева, Г.А. (2002). Влияние солевого состава воды на качество водки. *Производство ликероводочных изделий*, 1, 21–23.
- Абрамова, И.М., Поляков, В.А., Медриш, М.И., Павленко, С.В. (2013). Значение ионного состава водок в контроле алкогольной продукции. *Производство спирта и ликероводочных изделий*, 2, 20–21.
- Крикунова, Л.Н., Дубинина, Е.В., Ободеева, О.Н. (2019). К вопросу использования возвратных отходов хлебопекарного производства в технологии дистиллятов. *Пиво и напитки*, 1, 64–67. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2019-00007>
- Оганесянц, Л.А., Песчанская, В.А., Крикунова, Л.Н., Дубинина, Е.В. (2020). Научно-практические аспекты производства дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства. *Ползуновский вестник*, 1, 26–31. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.005>
- Крикунова, Л.Н., Дубинина, Е.В., Макаров, С.Ю. (2021). Возвратные отходы хлебопекарного производства — новый вид сырья для производства дистиллятов (Часть III. Стадия дистилляции). *Пищевые системы*, 4(2), 89–96. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-4-2-89-96>
- Wechgama, K., Laopaiboon, L., Laopaiboon, P. (2008). Quantitative analysis of main volatile and other compounds in traditional distilled spirits from Thai rice. *Biotechnology*, 7(4), 718–724. <https://doi.org/10.3923/biotech.2008.718.724>
- Ostertagova, E., Ostertag O. (2013). Methodology and application of one-way ANOVA. *American Journal of Mechanical Engineering*, 1(7), 256–261. <https://doi.org/10.12691/ajme-1-7-21>

21. Mayr Marangon, C., De Rosso, M., Carraro, R., Flamini, R. (2021). Changes in volatile compounds of grape pomace distillate (Italian grappa) during one-year ageing in oak and cherry barrels. *Food Chemistry*, 344, Article 128658. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128658>
22. Абрамова, И.М., Медриш, М.И., Савельева, В.Б., Романова, А.Г., Гаврилова, Д.А. (2018). Исследование летучих примесей в спиртных

напитках, изготовленных из выдержанных зерновых дистиллятов. *Пищевая промышленность*, 7, 74–76.

23. Славская, М.Л., Ильина, Е.В., Макаров, С.Ю. (2009). Требования к качеству воды для приготовления водок. *Производство спирта и ликероводочных изделий*, 3, 15–17.

REFERENCES

1. Oganesyants, L.A., Peschanskaya, V.A., Krikunova, L.N., Dubinina, E.V. (2019). Research of technological parameters and criteria for evaluating distillate production from dried Jerusalem artichoke. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 11(2), 187–198. <https://doi.org/10.34302/crpfst/2019.11.2.15>
2. Egorova, E. Ju., Morozhenko, Ju. V. (2018). Methodological approaches to the development and evaluation of the quality of new beverages of the distillates group. Part 2. Selection of raw materials. *Polzunovskiy Vestnik*, 2, 17–21. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072–8921.2018.02.004> (In Russian)
3. Awad, P., Athés, V., Decloux, M.E., Ferrari, G., Snakkers, G., Raquenaud, P. et al. (2017). The evolution of volatile compounds during the distillation of cognac spirit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(35), 7736–7748. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02406>
4. Pietruszka, M., Szopa, J. St. (2014). Agricultural distillates from Polish varieties of rye. *Czech Journal of Food Sciences*, 32(4), 406–411. <https://doi.org/10.17221/490/2013-CJFS>
5. Lea, A.G.H., Piggott, J.R. (2003). Fermented Beverage Production. Springer US: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2003. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0187-9>
6. Chursina, O.A., Legasheva, L.A., Prostack, M.N. (2019). The impact of regulated brandy distillate aging parameters on the processes of their maturation. *Magarach. Viticulture and Vinemaking*, 21(1(107)), 70–74. (In Russian)
7. Tešević, V., Nikićević, N., Jovanovic, A., Djoković D., Vujisić, L., Vučković, I. et al. (2005). Volatile components from old plum brandies. *Food Technology and Biotechnology*, 43(4), 367–372.
8. Trofimchenko, V.A., Sevost'janova, E.M., Osipova, V.P., Presnjakova, O.P. (2019). The criteria for evaluation of prepared water in the production of fruit brandies. *Beer and Beverages*, 4, 10–14. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2019-10011> (In Russian)
9. Rjabchikov, B. E. Modern water treatment. M.: DeLi plus, 2013, 679 p. (In Russian)
10. Poljakov, V.A., Abramova, I.M., Morozova, S.S., Medrish, M.E., Ustinova, E.V. (2015). Fixed water for making high-grade vodka. *Production of alcohol and alcoholic beverages*, 1, 20–22. (In Russian)
11. Daudova, T.N., Ahmedov, M.E., Demirova, A.F., Daudova, L.A. (2014). A new water treatment method for the production of alcoholic drinks. *Beer and Beverages*, 4, 12–13. (In Russian)
12. Lipnicki, J., Ogier, J., Lehmann, S. (2018). Experience in applying reverse osmosis as the fourth stage of treatment. *Water purification. Water treatment. Water supply*, 8(128), 30–35. (In Russian)
13. Sevostyanova, E.M., Osipova, V.P., Horosheva, E.V., Remneva, G.A. (2017). Effect of process water on the organoleptic characteristics of strong drinks. *Beer and Beverages*, 3, 40–43. (In Russian)
14. Ermolaeva, G.A. (2002). The effect of the salt composition of water on the quality of vodka. *Production of alcoholic beverages*, 1, 21–23. (In Russian)
15. Abramova, I.M., Poljakov, V.A., Medrish, M.E., Pavlenko, S.V. (2013). The value of the ionic composition of vodka in the control of alcohol production. *Production of alcohol and alcoholic beverages*, 2, 20–21. (In Russian)
16. Krikunova, L.N., Dubinina, E.V., Obodeeva, O.N. (2019). Question of using the returnable waste of bakery production for distillates producing. *Beer and Beverages*, 1, 64–67. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2019-00007> (In Russian)
17. Oganesyanc, L.A., Peschanskaja, V.A., Krikunova, L.N., Dubinina, E.V. (2020). Scientific and practical aspects of distillate production from returnable bakery waste. *Polzunovskiy Vestnik*, 1, 26–31. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072–8921.2020.01.005> (In Russian)
18. Krikunova, L.N., Dubinina, E.V., Makarov, S. Yu. (2021). Returnable baking waste — a new type of raw materials for distillates production (Part III. Distillation stage). *Food Systems*, 4(2), 89–96. (<https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-4-2-89-96> (In Russian))
19. Wechgama, K., Laopaiboon, L., Laopaiboon, P. (2008). Quantitative analysis of main volatile and other compounds in traditional distilled spirits from Thai rice. *Biotechnology*, 7(4), 718–724. <https://doi.org/10.3923/bio-tech.2008.718.724>
20. Ostertagova, E., Ostertag, O. (2013). Methodology and application of one-way ANOVA. *American Journal of Mechanical Engineering*, 1(7), 256–261. <https://doi.org/10.12691/ajme-1-7-21>
21. Mayr Marangon, C., De Rosso, M., Carraro, R., Flamini, R. (2021). Changes in volatile compounds of grape pomace distillate (Italian grappa) during one-year ageing in oak and cherry barrels. *Food Chemistry*, 344, Article 128658. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128658>
22. Abramova, I.M., Medrish, M.E., Savel'eva, V. B., Romanova, A. G., Gavrilova, D. A. Study of volatile impurities in alcoholic beverages made from aged grain distillates. *Food Industry*, 7, 74–76. (In Russian)
23. Slavskaja, M.L., Ilina, E.V., Makarov, S. Yu. (2009). Requirements for the quality of water for the preparation of vodkas. *Production of alcohol and alcoholic beverages*, 3, 15–17. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Крикунова Людмила Николаевна — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7-910-465-95-88 E-mail: cognac320@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7335-0453	Ludmila N. Krikunova , doctor of technical sciences, professor, leading researcher, Department of spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7-910-465-95-88 E-mail: cognac320@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7335-0453
Дубинина Елена Васильевна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7-903-577-53-62 E-mail: elena-vd@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8364-9539 * автор для контактов	Elena V. Dubinina , candidate of technical sciences, leading researcher, Department of spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7-903-577-53-62 E-mail: elena-vd@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8364-9539 * corresponding author
Ободеева Ольга Николаевна — младший научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7-916-955-14-80 E-mail: obodeewa.olga@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1068-4245	Olga N. Obodeeva , junior researcher, Department of spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7-916-955-14-80 E-mail: obodeewa.olga@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1068-4245
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/10.21323/2618-9771-2022-5-1-10-13>

Received 08.01.2022

Accepted in revised 04.02.2022

Accepted for publication 11.02. 2022

© Megdoud D., Galouz M.S, Rahal S., Benamara S., 2022



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

Short message

Open access

PRELIMINARY EVALUATION OF COLOR STABILITY OF DATE FRUIT TABLETS

Djemaa Megdoud, Mohand S. Galouz, Soufyane Rahal, Salem Benamara*

University M'hamed Bougara, Boumerdès, Algeria

KEY WORDS:

adsorption isotherm, color, date (*Phoenix dactylifera* L.) fruit, model, storage, water activity

ABSTRACT

This paper reports on preliminary qualitative evaluation of relationship between color change and water activity (a_w) of date (*Phoenix dactylifera* L., var. *Mech-Degla*) fruit tablets (DFTs) as natural supplement, in view to optimize their storage conditions. Eight types of DFTs were obtained, according to: i) mean particle size (225 and 282 μ m) of the used fruit powder, and ii) compression pressure (5, 10, 15 and 20 kN) applied during the tableting process. The experimental adsorption curves, determined at 25 °C using static-gravimetric method, were fitted to GAB (Guggenheim–Anderson–de Boer) and BET (Brunauer–Emmett–Teller) models. Results showed that the DFT color is significantly sensitive to a_w since beyond the a_w threshold value of 0.44, the DFT color changes from light grey to dark brown, independently of the particle size of fruit powder and compression pressure. Concerning the isotherm modeling, the both models tested seem especially suitable ($R \approx 0,96$ $0,3 \leq MRE \leq 5$ and $SE \approx 0,03$) for describing the experimental data for DFT obtained under a compression pressure of 5 kN from date fruit powder with mean particle size of 225 μ m. The DFT color stability is considerably influenced by the environmental humidity. Considering the importance of color for consumer acceptance, the study deserves to be deepened concerning the quantitative analysis of the color (CIELab system), packaging of the tablets, etc.

Поступила 08.01.2022

Поступила после рецензирования 04.02.2022

Принята в печать 11.02.2022

© Мегдуд Д., Галоус М. С., Рехал С., Бенамара С., 2022

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

Краткое сообщение

Open access

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ЦВЕТА ТАБЛЕТОК ИЗ ФИНИКОВ

Мегдуд Д., Галоус М. С., Рахал С., Бенамара С.

Университет им. М. Хамеда Бугара, Бумердес, Алжир

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

изотерма адсорбции, цвет, финики (*Phoenix dactylifera* L.), модель, хранение, активность воды

АННОТАЦИЯ

В данной статье сообщается о предварительной качественной оценке взаимоотношения между изменением цвета и активностью воды (a_w) таблеток из фиников (*Phoenix dactylifera* L., var. *Mech-Degla*) (DFT) как натуральной добавки с целью оптимизации условий их хранения. Было получено восемь типов DFT в соответствии с: i) средним размером частиц (225 и 282 μ m) используемого порошка плодов и ii) давлением сжатия (5, 10, 15 и 20 kN), примененном во время процесса таблетирования. Экспериментальные кривые адсорбции, определенной при 25 °C, используя статический гравиметрический анализ, были приспособлены к моделям GAB (Гуггенгейма — Андерсона — Де Бура) и BET (Брунауэр, Эммет и Теллер). Результаты показали, что цвет DFT в большой степени чувствителен к a_w , т. к. за пределами порогового уровня a_w порошка плодов цвет DFT изменяется от светло серого до темно коричневого, независимо от размера частиц порошка плодов и давления сжатия. Что касается изотермического моделирования, то обе тестируемые модели особенно пригодны ($R \approx 0,96$ $0,3 \leq MRE \leq 5$ и $SE \approx 0,03$) для описания экспериментальных данных для DFT, полученных при давлении сжатия 5 kN из порошка фиников со средним размером частиц 225 μ m. Влажность окружающей среды оказывает значительное влияние на стабильность цвета DFT. Что касается значения цвета для принятия потребителями, то исследование необходимо углубить в отношении количественного анализа цвета (система CIELab), упаковки таблеток и т. д.

1. Introduction

The COVID-19 pandemic has a significant impact on the increase of food supplement consumption [1]. In this context, dried fruits as healthy foods constitute good snacks, in alternative to sweet ones and food ingredients [2]. Especially, food tablets as dietary supplements may be great value-added products for getting healthy bioactive components [3]. Much work has been devoted in recent years to tablets made from raw fruits, including date fruit of naturally dry varieties [4]. It must be recalled that the date fruit is rich in essential nutrients such as potassium, zinc, magnesium, selenium, etc. [5]. This said,

the efficacy of healthy products in preventing diseases depends on the stability of the active compounds [6,7].

The a_w as an indicator of water availability is an important parameter which determines the suitability of food for storage. It is linked to water through sorption isotherms. The sorption isotherms in food science is an important tool for the design and optimization of drying equipment, design of packages, predictions of quality, stability, shelf-life and for calculating moisture changes that may occur during storage [8], while the color is one of the important sensory attributes of foods [9].

FOR CITATION: Megdoud, D., Galouz, M.D., Rahal, S., Benamara, S. (2022). Preliminary evaluation of color stability of date fruit tablets. *Food systems*, 5(1), 10-13. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-10-13>

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мегдуд, Д., Галоус, М.С., Рахал, С., Бенамара, С. (2022). Предварительная оценка стабильности цвета таблеток из фиников. *Пищевые системы*, 5(1), 10-13. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-10-13>

The present paper reports on preliminary qualitative evaluation of relationship between moisture adsorption and color change of tablets from date (*Phoenix dactylifera* L., var. *Mech-Degla*) fruits. It may be helpful to specify that Adiba et al. [4] and Iguergaziz et al. [10] have already investigated the date fruit tablets as a dietary supplement and as a pharmaceutical excipient, respectively. But, to our knowledge, the study of their stabilities has never been-addressed.

2. Objects and methods

— The *Mech-Degla* date fruits were first sorted, cleaned and pitted. They were then cut into small pieces of dimensions 15 mm × 15 mm × 2 mm, then dried to constant weight at 65 °C under vacuum of 200 mbar using a laboratory dryer (type HER-AEUS) fitted with a thermometer and a KNF Laboport brand vacuum pump (type N840.3FT.18). The dried fruit pieces were ground and then sieved using Lab Impact Test Sieve with sieve perforation dimensions of 200, 250 and 315 µm. Thus, two grain size classes (200–250 µm and 250–315 µm) were obtained.

The tablets were obtained by direct compression using the HERZOG type pelletizer at the UR-PME research laboratory of the University of Boumerdes. Four pressures were applied: 5, 10, 15 and 20 kN. Accordingly, eight types of tablets were prepared.

The adsorption isotherms of DFTs were measured using the gravimetric method as described by Labuza et al. [11]. For this, various saturated saline solutions (MgCl₂ 6H₂O, K₂CO₃, NaBr, NaNO₃, NaCl and KCl) were prepared so as to obtain relative humidities ranging from 33 to 84.8% (at 25 °C) [11,12,13]. Each DFT type to be analyzed was placed in a desiccator containing a given saturated solution. The samples were weighed at regular time intervals (24 h) until the constant weight (variation in weight between two successive measurements less than 1%) was reached, which corresponds to the equilibrium between the DFT water content and the relative humidity of the surrounding atmosphere.

The experimental data were fitted to the GAB (Guggenheim–Anderson–de Boer) and BET (Brunauer–Emmett–Teller) isotherms models, which are the most used in food products [14].

The goodness of the model fit was tested using the coefficient of correlation (R), relative mean error (RME) and standard error (SE). RME and SE were calculated as follows:

$$RME = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{X_{ei,e} - X_{ei,p}}{X_{ei,e}} \right| \quad (1)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{ei,e} - X_{ei,p})^2}{N-1}} \quad (2)$$

where

$X_{ei,e}$ is the i^{th} equilibrium water content,

$X_{ei,p}$ is the i^{th} predicted equilibrium water content,

N is the number of experimental observations.

The adjustment of the experimental values to the GAB and BET models was performed using Statistica software version 8.0, using the nonlinear regression program. A model is considered more suitable for describing experimental data when the value of R is closer to 1 and the values of MRE and SE closer to 0.

3. Results and discussion

The date tablets obtained weigh 1.9 g and are 2 cm in diameter and 0.5 cm in thickness. They have a light gray initial color.

The effect of a_w on color tablets is shown in Figure 1.

As can be seen, the DFT color is very sensitive to a_w , since beyond the threshold value of 0.44, the color changes from light grey to dark brown, independently of the powder granulometry and compression force. This color deterioration may be due to enzymatic and non-enzymatic (Maillard) reactions. It is a phenomenon which is well known as being one of the main causes of alteration of date fruit color [15]. These results could mean that both enzymatic and non-enzymatic browning reactions are responsible for the color alteration of DFTs. We can assume that each of the reactions is dominant depending on the relative humidity of the ambient air and, therefore, the a_w of DFT. Indeed, it has been established that enzymatic browning generally takes place at high a_w and medium temperatures, while non-enzymatic browning occurs at high temperatures and low a_w [16]. In particular, these findings highlight the fact that the Maillard reaction can occur even at room temperature (applied here), proving the influence, in addition of a_w , of storage time and other factors [17,18].

It might be worth pointing out that the date fruits are known to be rich above all in simple sugars (~ 75%) [15], which are (with amino acids) the substrates for non-enzymatic reactions. They

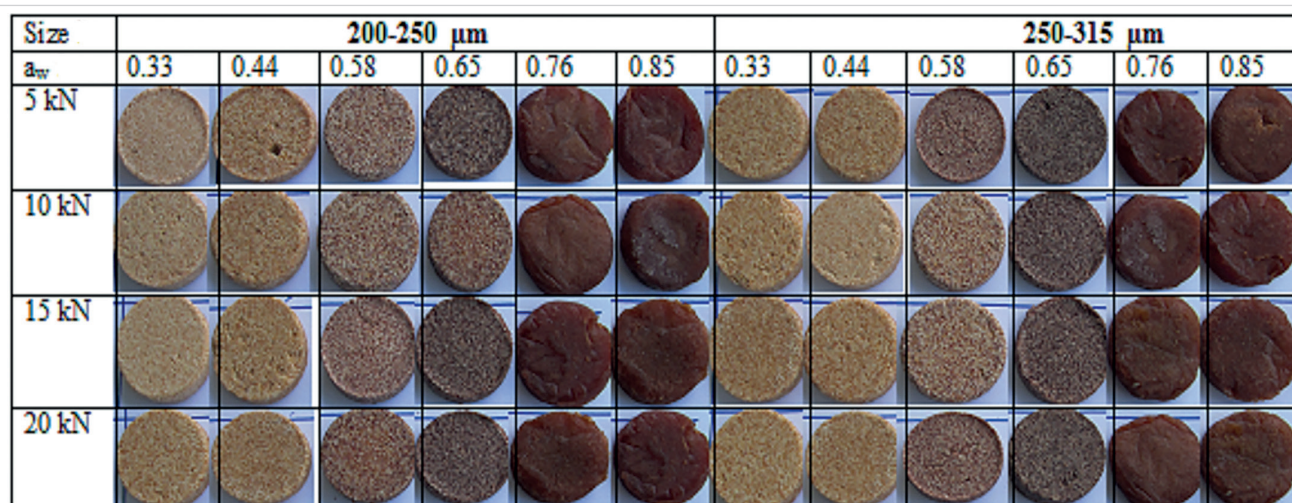


Figure 1. DFT color, according to particle size of original raw date fruit powder, a_w and compression pressure applied during tableting process

Рисунок 1. Цвет таблеток из фиников в соответствии с размером частиц исходного порошка сырых фиников, a_w и давлением сжатия, примененным во время процесса таблетирования

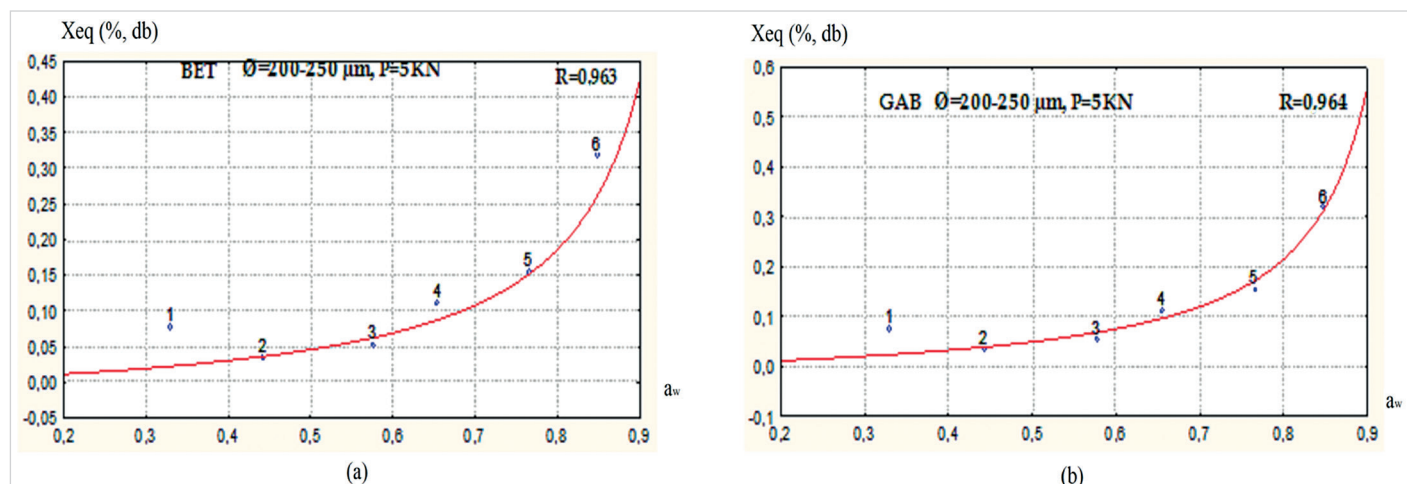


Figure 2. Adsorption isotherms of DFTs at 25 °C, according to BET (a) and GAB (b) models
Рисунок 2. Изотермы адсорбции порошка фиников при 25 °C, в соответствии с моделями BET (a) и GAB (b)

are also rich in polyphenols (~ 1.5%) [19], which are the substrate for enzymatic browning catalyzed by polyphenol oxidase in the presence of oxygen from air.

The most interesting results in terms of adsorption isotherm modeling are shown in Figure 2. The two tested BET (Figure 2a) and GAB (Figure 2b) models seem above all appropriate ($R \approx 0.96$, $0.3 \leq MRE \leq 5$ and $SE \approx 0.03$) to describe the experimental data for DFT obtained under a pressure of 5 kN from powders of particle size ranged between 200 and 250 μm . The two isotherms are of type III, which is a characteristic of high-sugar food products [20] and plasticisers [8]. It is worth mentioning here that sugars and their inverted form are used as plasticisers to regulate, for example, the mechanical properties of starch edible films [21,22]. This shape is itself linked to the BET multilayer adsorption isotherm [8].

4. Conclusion

The results show that the DFT color is significantly sensitive to a_w , since beyond the threshold value of 0.44, the color changes from light grey to dark brown, independently of the particle size of original raw date fruit powder and compression pressure. Concerning the isotherm modeling, both models (BET and GAB) tested seem especially suitable ($R \approx 0.96$, $0.3 \leq MRE \leq 5$ and $SE \approx 0.03$) for describing the experimental data for DFT obtained under a compression pressure of 5 kN from date fruit powder with mean particle size of 225 μm .

Considering the nutritional and practical importance of DFTs, the study deserves to be deepened concerning the quantitative analysis of the color (CIELab system), the packaging of the tablets, etc.

REFERENCES

1. Arlauskas, R., Bartkeviciute, R., Barzda, A., Stukas, R. (2021). The impact of the COVID-19 on the consumption of food supplements in the Lithuanian population. *European Journal of Public Health*, 31 (Supp_3), ckab164.445. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckab164.445>
2. Morais, R.M.S.C., Morais, A.M.M.B., Dammak, I., Bonilla, J., Sobral, P.J.A., Laguerre, J.-C. et al. (2018). Functional dehydrated foods for health preservation. *Journal of Food Quality*, 2018, Article 1739636. <https://doi.org/10.1155/2018/1739636>
3. Tokusoglu, O. (2019). Food tablet manufacturing strategies: Research data on effervescent food supplements. *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 9, 40–41. <https://doi.org/10.4172/2155-9600-C5-101>
4. Adiba, B.D., Benamara, S., Saidi, N., Mekoud, A. (2011). Preliminary characterization of food tablets from date (*Phoenix dactylifera* L.) and spirulina (*Spirulina* sp.) powders. *Power Technology*, 208(3), 725–730. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.01.016>
5. Farag, K.M. (2016). Date Palm: A wealth of healthy food. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*. 356–360. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00215-4>
6. Betoret, F., Calabuig-Jiménez, L., Barrera, C., Dalla Rosa, M. (2016). Sustainable drying technologies for the development of functional foods and preservation of bioactive compounds. Open access peer-reviewed chapter: *Sustainable Drying Technologies*. <https://doi.org/10.5772/64191>
7. Sidor, A., Drożdżyńska, A., Brzozowska, A., Gramza-Michałowska, A. (2021). The effect of plant additives on the stability of polyphenols in dried black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) fruit. *Foods*, 10(1), Article 44. <https://doi.org/10.3390/foods10010044>
8. Andrade, P.R.D., Lemus, M.R., Pérez C. C.E. (2011). Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. *Vitae*, 18(3), 325–334.
9. Shishkina, N.S., Karastoyanova, O.V., Borchenkova, L.A., Korovkina, N.V., Fedyanina, N.I. (2019). The influence of physical methods of vegetables processing on the quality of frozen products. *Food Systems*, 2(3), 9–12. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-3-9-12>
10. Iguergaz, N., Benamara, S., Boukhiar, A., Djallouli, F.-Z., Guebrili, A., Angar, N.-E. et al. (2019). Release characteristics of paracetamol and oleuropein from Mech-Degla date fruit tablets enriched and non-enriched with freeze-dried olive leaf extract. *Chemical Engineering Communications*, 206(4), 524–534. <https://doi.org/10.1080/00986445.2018.1505615>
11. Labuza, T.P., Kaanane, A., Chen, J.Y. (1985). Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. *Journal of Food Science*, 50, 385–391. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb13409.x>
12. Jannot, Y. (2008). Sorption isotherms: Models and determination. Retrieved from <https://docplayer.fr/6295592-Isothermes-de-sorption-modeles-et-determination-sommaire.html>. Accessed March 11, 2019. (In French)
13. Touati B. (2008). Theoretical and experimental study of the solar drying of the leaves of the spearmint (*Mentha viridis*). Doctoral thesis. I.N.S.A. of Lyon and University of Tlemcen, 166 p. (In French)
14. Alamri, M.S., Mohamed, A.A., Hussain, S., Ibraheem, M.A., Abdo Qasem, A.A. (2018). Determination of moisture sorption isotherm of cross linked millet flour and oxirane using GAB and BET. *Journal of Chemistry*, 2018, Article 2369762. <https://doi.org/10.1155/2018/2369762>
15. Al-Amrani, M., Al-Alawi, A., Al-Marhobi, I. (2020). Assessment of enzymatic browning and evaluation of antibrowning methods on dates. *International Journal of Food Science*, 2020, Article 838046. <https://doi.org/10.1155/2020/838046>
16. Korbel, E., Attal, E.-H., Grabulos, J., Lluberas, E., Durand, N., Morel, G. et al. (2013). Impact of temperature and water activity on enzymatic and non-enzymatic reactions in reconstituted dried mango model system. *European Food Research and Technology*, 237(1), 39–46. <http://doi.org/10.1007/s00217-013-2026-6>
17. Rufián-Henares, J.A., Pastoriza, S. (2016). Maillard reaction. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*. Academic Press, 2016, 593–600. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00435-9>
18. Karangwa, E., Habimana, J.D.D., Jingyang, Yu., Murekatetem, N., Zhang, X., Masamba, K. et al. (2017). Sensory characteristics of Maillard reaction products obtained from sunflower protein hydrolysates and different sugar types. *International Journal of Food Engineering*, 13(3), Article 20160006. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2016-0006>
19. Ghnimi, S., Umer, S., Karim, A., Kamal-Eldin, A. (2017). Date fruit (*Phoenix dactylifera* L.): An underutilized food seeking industrial valorization. *NFS Journal*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.12.001>
20. Ribeiro, L.C., da Costa, J.M.C., Afonso, M.R.A. (2019). Hygroscopic behavior of acerola powder obtained by spray-drying. *Acta Scientiarum – Technology*, 41, Article e35382. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v41i1.35382>

21. Veiga-Santos, P., Oliveira, L.M., Cereda, M.P., Scamparini, A.R.P. (2007). Sucrose and inverted sugar as plasticizer. Effect on cassava starch–gelatin film mechanical properties, hydrophilicity and water activity. *Food Chemistry*, 103(2), 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.07.048>
22. Ployetchara, T., Gohtani, S. (2018). Effect of sugar on starch edible film properties: plasticized effect. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3757–3766. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3307-7>

AUTHOR INFORMATION		СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	
Affiliation		Принадлежность к организации	
Megdoud D. , Lecturer and doctoral student, Department of Process Engineering University M'hamed Bougara 1 avenue de l'Indépendance, Boumerdès, Algérie Tel.: +21-355-560-59-83 E-mail: djemaa_megdoud@yahoo.fr ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5656-0627		Мегдуд, Д. — Преподаватель и докторант, Кафедра технологической инженерии, Университет имени М. Хамеда Бугары 1-я авеню Независимости, Бумердес, Алжир Тел.: +21-355-560-59-83 E-mail: djemaa_megdoud@yahoo.fr ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5656-0627	
Galouz, M.D. , Master student, Department of Process Engineering University M'hamed Bougara 1 avenue de l'Indépendance, Boumerdès, Algérie Tel.: +21-379-235-82-71 E-mail: Mohandsalahgalouz@yahoo.fr ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6842-8271		Галоус, М.С. — Магистрант, Кафедра технологической инженерии, Университет имени М. Хамеда Бугары 1-я авеню Независимости, Бумердес, Алжир Тел.: +21-379-235-82-71 E-mail: Mohandsalahgalouz@yahoo.fr ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6842-8271	
Rahal, S. , Master student, Department of Process Engineering University M'hamed Bougara 1 avenue de l'Indépendance, Boumerdès, Algérie Tel.: +3-366-824-23-77 E-mail: soufynerahal@outlook.fr ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4096-7868		Рахал, С. — Магистрант, Кафедра технологической инженерии, Университет имени М. Хамеда Бугары 1-я авеню Независимости, Бумердес, Алжир Тел.: +3-366-824-23-77 E-mail: soufynerahal@outlook.fr ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4096-7868	
Benamara S. , Professor, Department of Process Engineering University M'hamed Bougara 1 avenue de l'Indépendance, Boumerdès, Algérie Tel.: +21-367-606-47-97 E-mail: sbenamara2001@yahoo.fr ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8534-3533 * corresponding author		Бенамара, С. — Профессор, Кафедра технологической инженерии, Университет имени М. Хамеда Бугары 1-я авеню Независимости, Бумердес, Алжир Тел.: +21-367-606-47-97 E-mail: sbenamara2001@yahoo.fr ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8534-3533 * Автор для контактов	
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/10.21323/2618-9771-2022-5-1-14-22>

Поступила 11.11.2021

Поступила после рецензирования 15.02.2022

Принята в печать 25.02.2022

© Гумеров Т. Ю., Усманова А. Р., Мингалеева З. Ш., Тарасова Е. Ю., 2022



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

Научная статья

Open access

ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗЕРНОВОГО ПРОДУКТА «ЗЛАКОВЫЙ БАТОНЧИК»

Гумеров Т. Ю.^{1,2*}, Усманова А. Р.¹, Мингалеева З. Ш.¹, Тарасова Е. Ю.³

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

² Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева, Казань, Россия

³ Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

безвредность, токсичность,
белые крысы, гематология,
биохимия, морфология,
патологоанатомическое
вскрытие

АННОТАЦИЯ

Исследование пищевых продуктов является важнейшим инструментом построения доказательной базы их безопасности исходя из общепринятых научных представлений и действующих международных и национальных правовых норм. На этапе лабораторных исследований можно объективно доказать эффективность и безопасность новых видов пищевой продукции при применении по определенным показаниям у соответствующего контингента лиц, в том числе работающих во вредных производственных условиях. В Российской Федерации порядок оценки безвредности и проведение лабораторных исследований продуктов питания регламентируются Федеральными законами о качестве и безопасности пищевых продуктов, постановлениями об оказании услуг общественного питания, методическими рекомендациями по оценке риска здоровью населения при воздействии факторов микробной природы, содержащихся в пищевых продуктах, а также техническим регламентом Таможенного союза о безопасности пищевой продукции. Авторами разработана нормативно-техническая документация на зерновой продукт «Злаковый батончик» и представлены данные о его безвредности при употреблении в пищу. Выводы о продукте сделаны на основе изучения его хронической токсичности. Установлено, что ингредиентный состав злакового батончика, включенного в рацион питания лабораторных животных, положительно влияет на прирост массы их тела и не вызывает аномального изменения объема внутренних органов и развития патологий, которые могли бы свидетельствовать о побочном действии продукта. В процессе изучения гематологических и биохимических показателей не найдено достоверных отличий между данными контрольной и опытных групп животных. Проведенные исследования зернового продукта «Злаковый батончик» подтверждают отсутствие потенциальной опасности развития хронической токсичности при добавлении его в рационы питания и употреблении в течение длительного периода времени.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Научные исследования по изучению хронической токсичности зернового продукта «Злаковый батончик» финансировались Федеральным центром токсикологической, радиационной и биологической безопасности, г. Казань.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают благодарность генеральному директору АО «Булочно-кондитерский комбинат» г. Казани Б. Ф. Кутдусову, главному технологу — Г. Я. Халиковой, а также врио директора Федерального центра токсикологической, радиационной и биологической безопасности Ж. Р. Насыбуллиной.

Received 11.11.2021

Accepted in revised 15.02. 2022

Accepted for publication 25.02.2022

© Gumerov T. Yu., Usmanova, A. R. Mingaleeva, Z. Sh., Tarasova, E. Yu., 2022

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

Original scientific article

Open access

STUDY OF SAFETY INDICATORS OF THE CEREAL PRODUCT “CEREAL BAR”

Timofey Yu. Gumerov^{1,2*}, Adelya R. Usmanova¹, Zamira Sh. Mingaleeva¹, Evgeniya Yu. Tarasova³

¹ Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia,

² Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI

³ Federal Center of Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russia

KEY WORDS:

harmlessness, safety, toxicity,
white rats, hematology,
biochemistry, morphology,
autopsy

ABSTRACT

The study of food products is the most important method for creating proves of their food safety based on generally accepted scientific ideas and current international and national legal norms of food safety. At the stage of laboratory research it is possible to objectively prove the efficiency and safety of new types of food products while their consumption according to certain health indications among the relevant group of people, including staff working in hazardous industrial environment. In the Russian Federation the procedure for assessing the safety and running the laboratory tests of food products are regulated by the Federal Laws on the Quality and Safety of Food Products, regulations on provision of public catering services, methodological recommendations for assessing the risk to public health in case of exposure to microbial factors contained in food products, as well as technical regulations of the Customs Union on food safety. The authors have developed regulatory and technical documentation for the cereal product “Cereal bar” and presented data on its safety when consumed. Conclusions about the product are made on the basis of a study of its chronic toxicity. It has been established that the ingredients composition of the cereal bar, included in the diet of laboratory animals, provided a positive effect on their body

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гумеров, Т. Ю., Усманова, А. Р., Мингалеева, З. Ш., Тарасова, Е. Ю. (2022). Изучение показателей безопасности зернового продукта «Злаковый батончик». *Пищевые системы*, 5(1), 14-22. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-14-22>

FOR CITATION: Gumerov T. Yu., Usmanova, A. R. Mingaleeva, Z. Sh., Tarasova, E. Yu. (2022). Study of safety indicators of the cereal product “cereal bar”. *Food systems*, 5(1), 14-22. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-14-22>

condition, weight gain and did not cause abnormal changes in the volume of internal organs and the development of pathologies that could indicate a side effect of the product. During study of the hematological and biochemical parameters, no significant differences were found between the data of the control group and experimental group of the animals. The conducted studies of the cereal product “Cereal bar” confirm the absence of a potential risk of developing chronic toxicity in case of introduction of the cereal bar to the animals’ diets and its consumption over a long period of time.

FUNDING: The scientific research on the chronic toxicity of the cereal product “Cereal Bar” was funded by the Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan.

ACKNOWLEDGEMENTS: Herewith the authors express their gratitude to B. F. Kutdusov, General Director of JSC “Bakery and Confectionery Plant”, Kazan city, chief production engineer G. Ya. Khalikova, and Zh. R. Nasybullina acting as ad interim CEO of the Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety.

1. Введение

В настоящее время особое значение уделяется безопасности продуктов питания, содержащих ингредиенты растительного происхождения. Подобные ингредиенты позволяют обогатить готовый продукт необходимыми микро- и макроэлементами, витаминами и пищевыми волокнами. Продукты питания с заданными свойствами позволяют уменьшить негативное влияние вредных факторов окружающей среды, в том числе при работе во вредных производственных условиях [1,2].

Россия, как и многие другие государства мира, в начале XXI в. столкнулась с рядом глобальных вызовов, связанных с увеличением разнообразия технологий, сырья и материалов, которые используются при производстве пищевых продуктов. Изменения связаны и с существенным расширением слабо контролируемых форм торговли (прежде всего электронной), с демократизацией государственных надзорных функций и т. п.) Профилактика заболеваний, обусловленных неполноценным питанием и потреблением небезопасной пищевой продукции, является одной из важнейших задач, поставленных перед органами государственной власти Российской Федерации и в частности перед органами санитарно-эпидемиологического надзора [3–5].

Создание пищевых продуктов из сырья растительного происхождения актуально в связи с ухудшением экологической обстановки, популяризацией рафинированных продуктов и специализированных добавок (стероиды, антибиотики и т. д.), накапливающихся в организме человека. Исследование безвредности и общей биологической ценности растительных пищевых продуктов связано с изучением химического состава и полифенольных соединений, содержащихся в экстрактах в процессе хранения. Особо важным является определение микробиологических показателей безопасности пищевых продуктов, в том числе на тест-культуре *Tetrahymena pyriformis* [6].

Проблема доброкачественности продуктов представлена с точки зрения современного рядового покупателя, который задумывается о безопасности приобретаемых товаров. В работе [7] на примере зерномучных товаров рассмотрены возможные пути приобретения продуктами ядовитых или токсических веществ. Показано, что в условиях современного традиционного сельского хозяйства всегда имеется риск превышения в продуктах предельно допустимого уровня содержания солей тяжелых металлов, микотоксинов, нитратов, пестицидов, радионуклидов, а также вредной примеси [8–10].

Необходимо также отметить, что рацион питания населения, работающего в условиях Крайнего Севера, характеризуется недостаточным количеством полноценного белка, витаминов, минеральных веществ, молочных продуктов, свежих фруктов, овощей, кондитерских изделий, что отрицательно влияет на здоровье населения и приводит к развитию наиболее распространенных алиментарно-зависимых хронических неинфекционных заболеваний. В связи с чем,

возникает необходимость в специализированных продуктах высокого качества с длительными сроками хранения во всех административных территориях Арктической зоны [11].

Евразийской экономической комиссией рекомендованы методические подходы к оценке риска для здоровья при обосновании гигиенических нормативов содержания загрязнителей в пищевой продукции, гармонизированных с международно-признанными принципами и дополнениями. Например, при обосновании максимально допустимого содержания нитратов в растительной продукции принимаются во внимание как канцерогенный риск, обусловленный трансформацией нитратов в нитрозамины, так и риск для здоровья, связанный с образованием метгемоглобина [12,13].

Методология определения экспозиции и оценки риска воздействия химических загрязнителей в пищевых продуктах применяется в социально-гигиеническом мониторинге. Наиболее приоритетными загрязнителями пищевых продуктов для жителей Приморского края являются свинец, мышьяк, кадмий и ртуть. Высокое значение коэффициента опасности неканцерогенного риска связано с пищевой экспозицией мышьяка в рыбопродуктах и напитках, употребляемых как взрослым, так и детским населением [14].

В связи с увеличивающимся объемом производства и потребления населением широкого ассортимента пищевых добавок существенно возрастает риск их токсического воздействия. Часто подобные добавки встречаются в продуктах питания в различных сочетаниях друг с другом и могут стать причиной проявления особо опасных мутагенных и канцерогенных эффектов. Поэтому оценка комбинированного действия пищевых добавок остается важнейшей проблемой их безопасности [15–17].

В исследовании *in vitro* с использованием клеток печени человека было обнаружено, что некоторые пищевые ингредиенты реагируют с восстановленной формой витамина B12 и влияют на уровень обменных реакций этого витамина [18]. Согласно литературным данным, еще более серьезные последствия для здоровья могут быть связаны с употреблением искусственных пищевых добавок в продуктах питания. Исследования токсического воздействия, как правило, проводятся на лабораторных животных, и основным показателем возникновения патологий у подопытных является нарушение микробиоты кишечника, вследствие чего возможны дисбактериозы и воспалительные реакции в печени мышей [19].

Включение в рацион питания лабораторных крыс искусственных пищевых добавок, как правило, приводит к повреждению печени за счет индукции гипергликемии и накопления различных видов липидов на фоне окислительного стресса [20]. Проводимые гистологические и иммуногистохимические исследования генеративных тканей крыс, в диете которых присутствовали искусственные добавки, позволяют выявить значительные нарушения в тканях плаценты и плода, изменения нервной системы, астроглио-

за, снижение жизнеспособности нейронов префронтальной коры, миндалин, гиппокампа и гипоталамуса у крыс [21, 22].

Кроме того, система детоксикации и метаболизма химических соединений на тест-системах остается актуальной и малоизученной. Мало внимания уделяется изучению механизмов воздействия негативных факторов при оценке токсичности пищевых матриц на тест-организмы [23].

Широкий ассортимент пищевых добавок и их сочетание друг с другом в различных продуктах питания определено могут оказывать как аддитивный, так и синергетический негативные эффекты на организм человека. Поэтому для оценки безопасности пищевых продуктов (в том числе искусственных) особенно актуален в настоящее время принцип комплексного подхода с помощью экспресс-биотестов [24].

Таким образом, анализ исследований безопасности новых видов пищевых продуктов показал актуальность изучения их токсичности для решения задач гигиенического регламентирования [25].

Разработанный зерновой продукт «злаковый батончик» позволяет решить проблему нехватки необходимых нутриентов и пищевых волокон в питании различной категории лиц, в том числе подвергающихся вредным производственным воздействиям [26,27]. Для обоснования внедрения в рацион питания предлагаемого продукта необходимо было подтвердить его безопасность [28–32].

Как известно, одним из критериев оценки безопасности продукции, попадающей в организм человека и животных, в том числе перорально, является изучение его воздействия при однократном и многократном поступлении на лабораторных животных. Эти данные затем экстраполируются на организм человека. Любое новое средство или новое сочетание известных средств, как для исключения нежелательных последствий, так и с целью выявления особенностей его действия, предполагает обязательное тестирование на лабораторных животных при многократном поступлении продукта в организм. Это и послужило основной задачей данной работы.

Целью работы являлось изучение показателей хронической токсичности зернового продукта «Злаковый батончик» и исключение вероятности возникновения нежелательных последствий при добавлении в рацион питания широкой категории лиц, особенно работающих во вредных условиях труда.

2. Материалы и методы

Зерновой продукт «Злаковый батончик» вырабатывался на АО «Булочно-кондитерский комбинат» (г. Казань). Рецепт изделия представлена в Таблице 1, сведения о пищевой ценности — в Таблице 2.

Таблица 1. Рецептурное соотношение ингредиентов

Table 1. Recipe ratio of ingredients

№	Сырьё	Расход, кг	№	Сырьё	Расход, кг
1	Отруби овсяные	100	10	Артишоки	70
2	Клетчатка пшеничная	70	11	Лук репчатый	60
3	Кукурузная мука	50	12	Сассапариль	100
4	Полбяная мука	40	13	Сельдерей корневой	70
5	Люцерна молотая	30	14	Голубика	50
6	Плоды кориандра	20	15	Крыжовник	40
7	Укроп измельченный	50	16	Ежевика	50
8	Морковь свежая	60	17	Арахисовое масло	60
9	Брокколи	80			
Итого сырья				1000	
Выход				905,7	

Таблица 2. Пищевая ценность зернового продукта «Злаковый батончик» в 100 г продукта (расчетные значения)

Table 2. Nutritional value of the cereal product "Cereal bar" per 100 g of the product (calculated values)

Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Калорийность, ккал	Энергетическая ценность, кДж
5,0	7,0	16,0	150,0	630,0

Эксперимент по изучению хронической токсичности проводился в Федеральном центре токсикологической, радиационной и биологической безопасности, г. Казань. Злаковый батончик представляет собой готовый к употреблению пищевой продукт, состоящий из смеси злаковых культур, овощного и ягодного пюре, а также из другого сырья, предназначенного для непосредственного употребления в пищу, массой 0,03 кг и более. Злаковый батончик вырабатывается в виде отдельного изделия в упакованном виде.

Химический состав исследуемого продукта представлен в Таблице 3. Витаминно-минеральный состав ингредиентов приведен в Таблице 4.

Таблица 3. Химический состав базовых компонентов

Table 3. Chemical composition of the basic components

Ингредиенты	Содержание в 100 г /% от РСНП						Доля в калорийности %			Соотношение Белок: Жир: Углеводы
	белки	жиры	углеводы	вода	клетчатка	ЭЦ, ккал	Белок	Жир	Углеводы	
Кукурузная мука	7,2/ 7,06	1,5/2	72,1/ 46,22	14/ 0,42	4,4/ 22	331/ 19,38	9	4	87	1: 0,2: 10
Полбяная мука	13,1/ 12,84	1,7/ 2,27	56,9/ 36,4	0	0	295/ 17,27	18	5	77	1: 0,1: 4,3
Люцерна молотая	4/3,92	0,5/ 0,67	4/ 2,56	0	0	31/1,81	44	12	44	1: 0,1: 1
Кориандр	12,4/ 12,16	17,8/ 23,73	13,1/ 8,4	9/ 0,27	41,9/ 209,5	298/ 17,45	19	61	20	1: 1,4: 1,1
Укроп	2,5/ 2,78	0,5/ 0,76	6,3/ 4,6	86/ 2,94	2,8/ 14	40/2,66	25	11	64	1: 0,2: 2,5
Морковь	1,3/ 1,44	0,1/ 0,15	6,9/ 5,04	88/ 3,2	2,4/ 12	35/2,33	15	3	82	1: 0,1: 5,3
Брокколи	2,8/ 2,75	0,4/ 0,53	4/ 2,56	89/ 2,68	2,6/ 13	34/1,99	36	12	52	1: 0,1: 1,4
Артишоки	1,5/ 1,47	0	6,9/ 4,42	0	0	28/2,22	18	0	82	1: 0: 4,6
Лук репчатый	1,4/ 1,37	0	10,4/ 6,67	0	0	47/2,75	12	0	88	1: 0: 7,4
Сельдерей корневой яблочный	1,3/ 1,27	0,3/ 0,4	6,5/ 4,17	88/ 2,65	3,1/ 15,5	34/1,99	15	8	77	1: 0,2: 5
Голубика	1,0/ 0,98	0,5/ 0,67	6,6/ 4,23	88/ 2,65	2,5/ 12,5	39/2,28	12	13	76	1: 0,5: 6,6
Крыжовник	0,7/ 0,69	0,2/ 0,27	9,1/ 5,83	85/ 2,56	3,4/ 17	45/2,63	7	4	89	1: 0,3: 13
Ежевика	1,5/ 1,47	0,5/ 0,67	4,4/ 2,82	88/ 2,65	2,9/ 14,5	34/1,99	21	16	63	1: 0,3: 2,9
Арахисовое масло	17,3/ 16,96	57,1/ 76,13	16,9/ 10,83	0	0	660/ 38,64	11	79	10	1: 3,3: 1

Таблица 4. Витаминно-минеральный состав растительных ингредиентов
Table 4. Vitamin and mineral composition of plant ingredients

Наименование	мука		люцерна молотая	кориандр	укроп	морковь	брокколи	артишоки	лук репчатый	сельдерей	голубика	крыжовник	ежевика	арахисовое масло	
	кукурузная	пшеничная													
Витамины, %															
A	3,7	—	0,9	—	83	222	3,4	0,9	—	0,3	—	3,7	1,9	—	
b-car	4	0,1	1,7	—	90	240	7,2	—	—	0,2	—	4	2	—	
B1	23	24	5,1	16	2	4	4,7	3,9	3,3	2	0,7	0,7	0,7	7,7	
B2	7,2	6,3	7	16	5,6	3,9	6,5	7,8	1,1	3,3	1,1	1,1	2,8	6,8	
Холин	1,7	—	2,9	—	2,6	1,8	3,7	—	1,2	18	—	8,4	1,7	14	
B5	4,8	21	11	—	5	5,2	12	3,8	2	8	—	5,7	5,5	25	
B6	9,1	12	1,7	—	7,5	6,5	8,8	4,1	6	7,5	—	1,5	1,5	24	
B9	7,5	11	9	—	6,8	2,3	16	32	2,3	1,8	—	1,3	6,3	36	
C	—	—	9,1	23	111	5,6	99	5,9	11	8,9	22	33	17	—	
D	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
E	4	5,3	0,1	—	11	2,7	5,2	—	1,3	3,3	9,3	3,3	8	54	
H	—	—	—	—	0,8	1,2	1	—	18	0,2	—	—	—	—	
K	—	3	25	—	52	11	85	—	0,3	34	—	6,5	17	0,5	
PP	15	34	2,4	11	7	5,5	3,2	4,3	2,5	6	2	2	3	82	
Минералы, мг (мкг)															
Макроэлементы	K	147	388	79	1267	335	200	316	248	175	393	51	260	208	818
	Ca	20	27	32	709	223	27	47	19	31	63	16	22	30	72
	Si	—	—	—	—	1,6	25	78	—	5	29	—	12	—	—
	Mg	30	136	27	330	70	38	21	27	14	33	7	9	29	164
	Na	7	8	6	35	43	21	33	47	4	77	6	23	21	292
	P	109	401	70	409	93	55	66	58	58	27	8	28	32	350
	Cl	—	—	—	—	49,6	63	—	—	25	13	—	1	—	—
Микроэлементы	Fe	2,7	4,44	0,96	16,32	1,6	0,7	0,73	0,5	0,8	0,5	0,8	0,8	1	2,84
	I	—	—	—	—	2,3	5	15	—	3	0,4	—	1	—	—
	Co	—	—	—	—	3,4	2	—	—	5	1,8	—	0,9	—	—
	Mn	0,174	2,98	0,188	1,9	1,3	0,2	0,21	0,243	0,23	0,158	—	0,45	—	1,979
	Cu	76	511	157	975	146	80	49	54	85	70	—	130	0,646	760
	Mo	0	—	—	—	1,8	20	—	—	—	4	—	12	—	—
	Se	10,5	11,7	0,6	26,2	2,7	0,1	2,5	0,2	0,5	0,7	—	0,6	0,4	9,1
	F	—	—	—	—	17,8	55	—	—	31	4	—	12	—	—
	Cr	—	—	—	—	20,3	3	0,5	—	2	2,4	—	1	—	—
	Zn	0,66	3,28	0,92	4,7	0,91	0,4	0,41	0,32	0,85	0,33	-	0,09	0,53	3,51
Зола, г	0,8	—	—	6,02	2,3	1	0,87	0,6	1	1	—	—	—	4,15	
OK, г	—	—	—	—	0,1	0,3	—	—	0,2	0,1	—	—	—	—	
НЖК	0,2	0,4	0,1	1	0,1	—	0,1	—	—	0,1	—	—	—	10,2	
МНЖК	0	0,445	0,056	13,58	—	—	0,031	0,005	—	—	—	—	—	26,99	
ПНЖК	0	1,258	0,409	1,75	—	—	0,112	0,064	—	—	—	—	—	16,27	
Омега-3	0,02	0,1	0,2	0	—	—	0,1	—	—	—	—	—	0,1	0,1	
Омега-6	0,808	1,2	0,2	1,8	0,1	0,1	0	—	—	0,1	—	—	0,2	16,2	
Трансжиры	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,16	
Отношение омега-3 к омега-6:	—	1:12	1:1	—	—	—	1:0	—	—	—	—	—	1:2	1:162	

На промежуточном этапе исследований были определены санитарно-химические и микробиологические показатели зернового продукта «злаковый батончик», свидетельствующие о безвредности готового изделия. Данные представлены в Таблице 5.

Таблица 5. Санитарно-химические и микробиологические показатели
Table 5. Sanitary-chemical and microbiological indicators

Наименование показателя, НД на продукцию и на метод испытаний	Нормы по НД (не более)	«Злаковый батончик»
Токсичные элементы:		
Свинец, мг/кг, ГОСТ 33824	0,5	0,054
Кадмий, мг/кг, ГОСТ 33824	0,1	0,004
Мышьяк, мг/кг, ГОСТ 31628	0,2	0,024
Ртуть, мг/кг, МУ 5178–90	0,03	0,006
Микотоксины:		
Афлатоксин В1, мг/кг, ГОСТ 30711 п. 3	0,005	менее 0,003
Т-2 токсин, мг/кг, ГОСТ 31653	0,1	менее 0,02
Охратоксин А, мг/кг, ГОСТ 31653	0,005	менее 0,004
Пестициды:		
ГХЦГ, мг/кг, МУ 2142–80	0,5	менее 0,005
ДДТ и его метаболиты, мг/кг, МУ 2142–80	0,02	менее 0,02
2,4-Д кислота, ее соли, мг/кг, МУ 1541–76	не допускается	не обнаружено
Радионуклиды:		
Активность ¹³⁷ Cs, Бк/кг, МУК 2.6.1.1194–2003	60	менее 3,6
Активность ⁹⁰ Sr, Бк/кг, МУК 2.6.1.1194–2003	20	менее 2,3
Значения показателя соответствия В		менее 0,16
Микробиологические показатели:		
КМАФАнМ, КОЕ/г, ГОСТ 33536–2015	1х10 ³	1,5х10 ¹
Наличие БГКП, в г, ГОСТ 31747–2012	не допускается в 1,0	не обнаружено в 1,0
Наличие плесени, КОЕ/г, ГОСТ 10444.12–2013	Не более 100	Менее 10
Наличие патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонелл, г, ГОСТ 31659–2012	не допускается в 25	не обнаружено в 25

Показатели хронической токсичности зернового продукта «Злаковый батончик» изучали на 18 белых нелинейных крысах живой массой 110–130 г, обоего пола, разделенных по принципу аналогов на 3 группы по 6 голов в каждой. Эксперимент на животных, включая их содержание и все манипуляции, осуществлялся с соблюдением требований Приказа МЗ РФ № 267 от 19.06.2003 «Об утверждении правил лабораторной практики», а также Директив Европейского сообщества 86/609ЕЕС.

Первая группа животных являлась контрольной, то есть в их рацион питания не добавлялся исследуемый зерновой продукт «Злаковый батончик». Второй группе животных ежедневный рацион питания заменяли исследуемым образцом на 1%, а третьей группе — соответственно на 3%. Продолжительность эксперимента составила 30 суток.

Рацион крыс был представлен сухим полнорационным гранулированным экструдированным комбикормом ПК-120 для лабораторных грызунов. Рецепт ПК-120 для содержания лабораторных животных (мышей, крыс, хомяков) ГОСТ 34566–2019. Оценку потребления корма и воды проводили ежедневно путем взвешивания остатков в течение 30 суток эксперимента.

Состав: сырой жир 4,7%, сырой протеин 21%, сырая клетчатка 3,94%, сырая зола 5,41%; также в состав корма входят

витамины, минеральные вещества, лизин, метионин и др. Доля протеина животного происхождения — 17,99% от общего содержания. Обменной энергии в 1 кг комбикорма: ккал, не менее 3100; кДж, не менее 13000. Батончик крысам задавался перорально с кормом в измельченном виде.

В течение срока эксперимента за животными всех групп велись клинические наблюдения. Взвешивание крыс осуществлялось в начале опыта, далее каждые 10 суток в течение эксперимента и по его окончании.

На момент завершения исследования на фоне действия эфирного наркоза была проведена декапитация и осуществлена эвтаназия животных с целью проведения гематологических и биохимических исследований, патологоанатомического вскрытия, определения массы внутренних органов.

Морфологические показатели определяли в цельной крови на автоматическом гематологическом анализаторе Mythic 18 Vet (Orphee Geneva, Швейцария) в соответствии с Руководством пользователя к прибору. В основе работы прибора для определения состава клеток используется импедансометрический метод (также известный как метод Култера) или волюметрический метод. Определение концентрации гемоглобина осуществлялось фотометрическим методом.

Биохимические показатели определяли в сыворотках крови на автоматическом биохимическом анализаторе АРД-200 (ООО «ВИТАКО», Россия) в соответствии с Руководством пользователя к прибору и инструкциями к готовым наборам реагентов. До начала выполнения анализов образцов сывороток осуществляли контроль качества по каждому исследованному показателю, определяя показатели в контрольной сыворотке. При необходимости настраивали прибор по контрольной сыворотке.

Массу внутренних органов измеряли с помощью лабораторных электронных весов ВМ-512 (точность 0,01 г, класс точности лабораторных весов — высокий (II) по ГОСТ 24104–01).

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась в соответствии с требованиями, приведенными в ГОСТ 34100.1–2017/ ISO/IEC Guide 98–1:2009.

Статистическую обработку результатов осуществляли посредством расчета значений средних (М) и стандартных ошибок средних ($\pm$ SEM). Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при $p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$ и $p \leq 0,001$.

3. Результаты и обсуждение

В результате научного исследования было установлено, что в течение всего периода наблюдения после добавления продукта зернового «Злаковый батончик» в корм у животных опытных групп не наблюдалось каких-либо признаков интоксикации. Количество потребления корма и воды крысами опытных групп не отличалось от показателей контрольной группы.

Животные всех групп были активны, имели гладкий и чистый шерстный покров, поведение опытных крыс не отличалось от крыс контрольной группы и соответствовало данному виду животных, физиологические отправления были нормальными. На протяжении эксперимента гибели животных как в опытных, так и в контрольной группах не наблюдалось.

Изучение динамики живой массы крыс (Таблица 6) в ходе опыта показало, что испытываемый злаковый батончик положительно влиял на прирост массы тела. Так, во второй и третьей группах прирост массы тела превышал показатели первых суток на 28,57 и 30,61% к концу эксперимента, что выше значений контрольной группы на 2,18 и 4,22% соответственно.

Таблица 6. Влияние злакового батончика на динамику живой массы крыс (n = 6)

Table 6. Effect of the cereal bar on the dynamics of the live weight in rats (n = 6)

Срок исследования, сут	Группа животных		
	Первая	Вторая	Третья
1	121,30 ± 1,69	122,07 ± 2,65	120,73 ± 1,87
10	129,67 ± 1,37	131,51 ± 2,19	131,09 ± 1,85
20	144,0 ± 1,07	146,87 ± 2,29	147,31 ± 1,77
30	153,32 ± 0,91	156,94 ± 2,20	157,68 ± 1,67*

Примечание: * p < 0,05

Результаты исследований, представленные в Таблице 7, свидетельствуют о том, что абсолютная масса внутренних органов животных, получавших длительное время продукт зерновой «Злаковый батончик», достоверно не отличалась от аналогичных показателей животных контрольной группы.

Таблица 7. Влияние злакового батончика на массу внутренних органов белых крыс

Table 7. Effect of the cereal bar on the weight of the internal organs of white rats

Масса органа, г	Группа животных		
	Первая	Вторая	Третья
Селезенка	0,71 ± 0,06	0,72 ± 0,06	0,75 ± 0,05
Почки	0,90 ± 0,05	0,97 ± 0,26	1,10 ± 0,13
Легкие	1,55 ± 0,17	1,46 ± 0,18	1,51 ± 0,26
Печень	4,75 ± 0,27	4,87 ± 0,37	5,06 ± 0,35
Сердце	0,46 ± 0,02	0,49 ± 0,03	0,49 ± 0,05
Желудок	0,81 ± 0,06	0,83 ± 0,04	0,86 ± 0,04
Кишечник	5,66 ± 0,23	5,77 ± 0,17	5,98 ± 0,32
Семенники	2,45 ± 0,11	2,28 ± 0,15	2,56 ± 0,12

При макроскопическом исследовании сердца, печени, почек, селезенки, легких, желудочно-кишечного тракта вынужденно убитых животных не выявлено патологических изменений, которые могли бы свидетельствовать о побочном действии продукта зернового «Злаковый батончик».

В Таблице 8 представлены результаты изучения картины периферической крови в течение хронического эксперимента по определению токсичности исследуемого продукта для крыс.

Таблица 8. Влияние злакового батончика на гематологические показатели крови у белых крыс

Table 8. Effect of the cereal bar on the hematological indicators of blood in white rats

Показатель	Группа животных		
	Первая	Вторая	Третья
Эритроциты, × 10 ¹² /л	6,63 ± 0,19	7,04 ± 0,19	7,19 ± 0,22
Гемоглобин, г/л	131,67 ± 4,39	147,50 ± 3,59*	150,00 ± 2,14*
Лейкоциты, × 10 ⁹ /л	14,48 ± 0,59	14,10 ± 0,47	13,82 ± 0,53
СОЭ, мм/ч	1,50 ± 0,37	1,33 ± 0,23	1,17 ± 0,18

Примечание: * p < 0,05

При исследовании крови на содержание эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина, определении СОЭ статистически достоверные изменения наблюдались в отношении гемоглобина. Во второй группе повышение составило 12,02% (p < 0,05), в третьей группе — 13,90% (p < 0,05) относительно контрольной группы.

Проведенные исследования сыворотки крови показали, что статистически достоверных отличий между показателями у крыс контрольной и опытных групп не обнаружено (Таблица 9).

У крыс второй и третьей групп имеется тенденция к увеличению содержания общего белка в сыворотке крови. Полученные результаты статистически не достоверны (p > 0,05) относительно показателей первой группы. Они вписываются в ошибку опыта, и в данном случае эти колебания являются скорее физиологичными. В то же время нельзя игнорировать выявленную тенденцию, которую мы бы не смогли выявить, если бы не проводили исследования хронической токсичности. Это подтверждает правильность выбранной цели исследования воздействия продукта при многократном поступлении в организм.

Таблица 9. Влияние продукта зернового «Злаковый батончик» на биохимические показатели крови у белых крыс

Table 9. Effect of the cereal product "Cereal bar" on the biochemical indicators of blood in white rats

Показатель	Группа животных		
	Первая	Вторая	Третья
Общий белок, г/л	64,63 ± 2,73	66,53 ± 3,41	69,35 ± 1,93
Щелочная фосфатаза, Е/л	116,17 ± 2,99	117,33 ± 4,38	112,67 ± 4,50
Аланинаминотрансфераза, Е/л	60,5 ± 3,21	58,17 ± 3,50	63,17 ± 4,05
Аспартатаминотрансфераза, Е/л	129,83 ± 3,50	127,33 ± 5,79	131,17 ± 8,15
Гамма-глутамилтрансфераза, Е/л	21,00 ± 2,45	20,33 ± 2,38	20,50 ± 2,36
Лактатдегидрогеназа, Е/л	609,17 ± 12,64	590,67 ± 17,53	603,50 ± 14,02
Креатинкиназа, Е/л	401,33 ± 12,76	418,33 ± 25,56	415,83 ± 15,94
Глюкоза, ммоль/л	5,13 ± 0,26	5,27 ± 0,58	4,95 ± 0,42
Кальций, ммоль/л	2,38 ± 0,05	2,52 ± 0,11	2,49 ± 0,10
Фосфор, ммоль/л	1,43 ± 0,05	1,50 ± 0,12	1,45 ± 0,09

Примечание: Е/л — единиц на литр.

Общий белок — показатель нарушений обмена веществ и неправильного питания, биомаркер онкологических процессов, острых и хронических воспалительных заболеваний.

Щелочная фосфатаза — фермент-биомаркер гепатита и системных заболеваний скелета.

Аланинаминотрансфераза — внутриклеточный фермент, задействованный в белковом обмене, является маркером патологий печени.

Аспартатаминотрансфераза — клеточный фермент, участвующий в обмене аминокислот, показатель травмирования сердечной и скелетных мышц.

Гамма-глутамилтрансфераза — фермент, участвующий в обмене аминокислот, показатель обструктивного поражения печени и желчных протоков.

Лактатдегидрогеназа — фермент, принимающий участие в реакциях гликолиза, используются при диагностике инфарктов, ишемий, повреждения почек.

Креатинкиназа — внутриклеточный фермент АТФ и АДФ, показатель повреждения или разрушения клеток.

Глюкоза — показатель выработки гормона-инсулина в функционировании которого участвует печень и внепеченочные ткани.

Фосфор и кальций — показатель функционирования почек, паращитовидных / щитовидной желез и состояния костей.

4. Заключение

В результате полученных данных необходимо отметить, что увеличение общего белка в сыворотке крови коррелирует с повышением массы тела животных (p < 0,05). В данном контексте увеличение количества белка следует рассматривать как позитивные колебания, т. к. белки являются

строительным материалом для организма. Учитывая, что масса тела и содержание белка являются универсальными неспецифическими показателями токсичности, то здесь, наоборот, применение батончика положительно сказывается на защитных и адаптационных возможностях организма. Если гепатоспецифические ферменты АЛТ и АСТ, отражающие состояние печени и сердечной ткани, не увеличивают своей активности, колебания физиологически ничтожны и находятся в пределах ошибки опыта, а соотношение данных показателей (коэффициент Ритиса) также не меняется, то это можно считать критериями подтверждения положительного влияния изучаемого средства.

Представленные результаты безопасности пищевого продукта являются научно обоснованными при оценке

риска для здоровья потребителей и могут быть полезными в обмене опытом и обсуждении практики на основе международных критериев и гигиенических нормативов.

Установлено, что продукт зерновой «Злаковый батончик», приготовленный по разработанной и утвержденной рецептуре, не содержит опасных и токсичных элементов. Экспериментом подтверждена безвредность продукта и отсутствие потенциальной опасности развития хронической токсичности при употреблении его в течение длительного периода в указанных дозах. Данный продукт может быть рекомендован в качестве дополнения к рационам питания различных категорий граждан, особенно в условиях неблагоприятной экологической обстановки и вредных производственных факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валева, Э. Т., Галимова, Р. Р., Бакиров, А. Б., Терегулова, З. С., Ди- станова, А. А., Урманцева, Ф. А. (2019). Лечебно-профилактическое питание в комплексной терапии профессиональных заболеваний в условиях санаторно-курортного лечения. *Медицина труда и экология человека*, 1(17), 55–62. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10009>
2. Popova, A. Yu. (2018). Risk analysis as a strategic sphere in providing food products safety. *Health Risk Analysis*, 4, 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.01>
3. Zaitseva, N. V. (2018). Analysis of population health risks in the Russian Federation caused by food products contamination. *Health Risk Analysis*, 4, 13–23. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.02>
4. Юферова, А. А., Сахарова, О. В., Смольяников, В. А., Живчикова, Р. И. (2018). Исследование токсичности и относительной биологической ценности леспедецы двукветной и продукта с ее использованием. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 8(3(26)), 147–152. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-3-147-152>
5. Titov, E. I., Krasnova, I. S., Ganina, V. I., Semenova, E. G. (2021). Freeze-dried food in the diet of temporary residents of the Far North. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(1), 170–178. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-170-178>
6. Kitaevskaya, S. V., Ponomarev, V. Y., Yunusov, E. Sh., Kamartdinova, D. R. (18–20 November 2020). *Assessment of lactic acid bacteria new consortia proteolytic activity*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IV International Scientific Conference: AGRITECH-IV-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Krasnoyarsk, Russian Federation, 677, Article 52073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052073>
7. Агапкин, А. М. (2016). Доброкачественность, или пищевая безвредность, продуктов. *Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова*, 6(90), 183–189.
8. Shur, P.Z., Zaitseva, N.V. (2018). Health risk assessment when giving grounds for hygienic criteria of food products safety. *Health Risk Analysis*, 4, 43–56. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.05.eng>
9. Кик, П. Ф., Ананьев, В. Ю., Кислицына, Л. В., Морев, В. Г., Кондратьев, К. В., Сабирова, К. М. и др. (2017). Риск воздействия на здоровье населения Приморского края химических загрязнителей в продуктах питания. *Экология человека*, 11, 18–22. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-11-18-22>
10. Samoilov, A.V., Suraeva, N.M., Zaitseva, M.V., Kurbanova, M.N., Stolbova, V.V. (2019). Comparative assessment of artificial sweeteners toxicity via express biotest. *Health Risk Analysis*, 2, 83–90. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.2.09.eng>
11. Кунакова, Р. В., Зайнуллин, Р. А., Хуснутдинова, Э. К., Ялаев, Б. И. (2016). Здоровое питание XXI века: функциональные продукты питания и нутригеномика. *Вестник Академии наук Республики Башкортостан*, 21(3(83)), 5–14.
12. Liu, C.-W., Chi, L., Tu, P., Xue, J., Ru, H., Lu, K. (2019). Quantitative proteomics reveals systematic dysregulations of liver protein metabolism in sucralose-treated mice. *Journal of Proteomics*, 196, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2019.01.011>
13. Saghizadeh, M., Gharaati, M.R., Mohammadi, Sh., Ghiassi-Nejad, M. (2018). Evaluation of DNA damage in the root cells of *Allium cepa* seeds growing in soil of high background radiation areas of Ramsar-Iran. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(10), 1698–1702. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.03.013>
14. Shalaby, A. M., Ibrahim, M.A.A.H., Aboregela, A. M. (2019). Effect of aspartame on the placenta of adult albino rat. A Histological and Immunohistochemical Study. *Annals of Anatomy — Anatomischer Anzeiger*, 224, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2019.04.007>
15. Xue, Y., Yu, X., Zhang, X., Yu P., Li Y., Fu W. et al. (2021). Protective effects of ginsenoside Rc against acute cold exposure-induced myocardial injury in rats. *Journal of Food Science*, 86(7), 3252–3264. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15757>
16. Ражапова, Н. Р., Саидрахмедова, З. О., Курбанов, С. Р. (2017). Токсикологическая оценка медико-биологической безопасности сырья для производства нового вида продукции. *Актуальные научные исследования в современном мире*, 5–3(25), 93–97.
17. Roman, B., Brennan, R. A., Lambert, J. D. (2021). Duckweed protein supports the growth and organ development of mice: A feeding study comparison to conventional casein protein. *Journal of Food Science*, 86(3), 1097–1104. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15635>
18. Guo, F., Han, M., Lin, S., Ye H., Chen J., Zhu H. et al. (2021). Enteromorphia prolifera polysaccharide prevents high-fat diet-induced obesity in hamsters: A NMR-based metabolomic evaluation. *Journal of Food Science*, 86(8), 3672–3685. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15818>
19. Батура, Н. Г., Типсина, Н. Н. (2019). Изучение влияния злаковых хлопьев на качество хлебобулочных изделий. *Вестник КрасГАУ*, 12(153), 169–175. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2019-12-169-175>
20. Savelyeva, E.V., Zinurova, E.E., Mingaleeva, Z.S., Maslov, A.V., Starovoitova, O.V., Borisova, S.V. et al. (2019). The study of the possibility of using the additive of plant origin for improvement of the quality of yeast and wheat bread. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 7(Special Issue), 1036–1040.
21. Zinurova, E.E., Bagaeva, T.V., Mingaleeva, Z.S., Starovoitova, O.V., Reshetnik, O.A. (2015). Influence of *S. cerevisiae* yeast as a part of the recipe component of flour confectionery on the quality of deep-fat frying. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6(6), 1751–1755.
22. Переверзева, Э. Р., Трещалин, М. И., Голибродо, В. А. (2018). Изучение токсичности оливамида в хроническом эксперименте на кроликах. *Российский биотерапевтический журнал*, 17(4), 91–97. <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2018-17-4-91-97>
23. Кацнельсон, Б. А., Вараксин, А. Н., Панов, В. Г. (2015). Экспериментальное моделирование и математическое описание хронической комбинированной токсичности как основа анализа многофакторных химических рисков для здоровья. *Токсикологический вестник*, 5(134), 37–45.
24. Кузлякина, Ю. А., Юрчак, З. А., Крюченко Е. В. (2018). Анализ причин внедрения системы менеджмента безопасности пищевой продукции на предприятиях, производящих упаковку для пищевой продукции. *Все о мясе*, 6, 28–30. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-6-28-30>
25. Янковская, В. С., Дунченко Н. И. (2020). Научная концепция моделирования и прогнозирования показателей безопасности и качества пищевых продуктов. *Молочная промышленность*, 11, 38–39. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-11-38-39>
26. Амелин, В. Г., Лаврухина, О. И. (2017). Обеспечение безопасности пищевых продуктов средствами химического анализа. *Журнал аналитической химии*, 72(1), 3–49. <https://doi.org/10.7868/S0044450217010030>
27. Прищепова, Т. С., Патиева, С. В. (2015). Пищевая и биологическая ценность новых видов мясорастительных консервов для диетического профилактического питания людей. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*, 10(3(37)), 140–143. <https://doi.org/10.12737/14787>

28. Молибога, Е. А. (2016). Расширение ассортиментной линейки продуктов пищевых функциональных за счет разработки технологии плавящихся сырных продуктов для специализированного питания. *Аграрный вестник Урала*, 5(147), 74–77.
29. Arefyeva, E. V., Muravyeva, E. V., Maslennikova, N. N. (6–9 October 2020). *Environmental risks caused by floods in built-up areas*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vladivostok, 666(5), Article 052032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/5/052032>
30. Romanovsky, V. L., Alekseeva, E. I., Gorina, L. N. (6–12 September 2020). *Conducting a comparative analysis of the system state options under various external influences*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, 962(4), Article 042035. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042035>
31. Arefyeva, E., Gorina, L., Alekseeva, E. (2022). Assessment of the Vulnerability of Architectural Monuments to Dangerous Natural Processes. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 180, 159–170. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8_15
32. Shanina, E.P., Klyukina, E.M., Stafeyeva, M.A., Belyaeva, N.V. (2021). Potential of potatoes as a source of nutritional value: Amino acid composition of protein in tubers of potatoes of the Ural region, Russia. *Research on Crops*, 22(Special Issue), 108–112. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.026>

REFERENCES

1. Valeeva, E.T., Galimova, R.R., Bakirov, A.B., Teregulova, Z.S., Distanova, A.A., Urmantseva, F.A. (2019). Medical and prophylactic nutrition in complex therapy of occupational diseases in the health resort conditions. *Occupational health and human ecology*, 1(17), 55–62. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10009> (In Russian)
2. Popova, A. Yu. (2018). Risk analysis as a strategic sphere in providing food products safety. *Health Risk Analysis*, 4, 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.01>
3. Zaitseva, N. V. (2018). Analysis of population health risks in the Russian Federation caused by food products contamination. *Health Risk Analysis*, 4, 13–23. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.02>
4. Yuferova, A.A., Sakharova, O.V., Smol'yanikov, V.A., Zhivchikova, R.I. (2018). Investigation of the toxicity and relative nutrient bioavailability of lespedeza bicolor and products on its basis. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 8(3(26)), 147–152. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-3-147-152> (In Russian)
5. Titov, E. I., Krasnova, I. S., Ganina, V. I., Semenova, E. G. (2021). Freeze-dried food in the diet of temporary residents of the Far North. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(1), 170–178. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-170-178>
6. Kitaevskaya, S. V., Ponomarev, V. Y., Yunusov, E. Sh., Kamartdinova, D. R. (18–20 November 2020). *Assessment of lactic acid bacteria new consortia proteolytic activity*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IV International Scientific Conference: AGRITECH-IV-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Krasnoyarsk, Russian Federation, 677, Article 52073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052073>
7. Agapkin, A.M. (2016). High quality or food safety of foodstuffs. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*, 6(90), 183–189. (In Russian)
8. Shur, P.Z., Zaitseva, N.V. (2018). Health risk assessment when giving grounds for hygienic criteria of food products safety. *Health Risk Analysis*, 4, 43–56. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.05.eng>
9. Kiku, P.F., Anan'ev, V. Yu., Kisilitsina, L.V., Moreva, V.G., Kondratyev, K.V., Sabirova, K.M. et al. (2017). The risk of impact on the health of the population of primorye territory contaminant chemical in food. *Human Ecology*, 11, 18–22. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-11-18-22> (In Russian)
10. Samoilov, A.V., Suraeva, N.M., Zaitseva, M.V., Kurbanova, M.N., Stolbova, V.V. (2019). Comparative assessment of artificial sweeteners toxicity via express biotest. *Health Risk Analysis*, 2, 83–90. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.2.09.eng>
11. Kunakova, R.V., Zaynullin, R.A., Khusnutdinova, E.K., Yalaev, B.I. (2016). Functional food and nutrigenomics as the basis of healthy food of the 21st century. *Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, 3(83), 5–14. (In Russian)
12. Liu, C.-W., Chi, L., Tu, P., Xue, J., Ru, H., Lu, K. (2019). Quantitative proteomics reveals systematic dysregulations of liver protein metabolism in sucralose-treated mice. *Journal of Proteomics*, 196, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jpro.2019.01.011>
13. Saghirzadeh, M., Gharaati, M.R., Mohammadi, Sh., Ghiassi-Nejad, M. (2018). Evaluation of DNA damage in the root cells of Allium cepa seeds growing in soil of high background radiation areas of Ramsar-Iran. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(10), 1698–1702. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.03.013>
14. Shalaby, A. M., Ibrahim, M.A.A.H., Aboregela, A. M. (2019). Effect of aspartame on the placenta of adult albino rat. A Histological and Immunohistochemical Study. *Annals of Anatomy — Anatomischer Anzeiger*, 224, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2019.04.007>
15. Xue, Y., Yu, X., Zhang, X., Yu P., Li Y., Fu W. et al. (2021). Protective effects of ginsenoside Rc against acute cold exposure-induced myocardial injury in rats. *Journal of Food Science*, 86(7), 3252–3264. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15757>
16. Razhapova, N.R., Saidakhmedova, Z., Kurbanov, S.R. (2017). Assessment of medico-biological nutritional safety of powder to produce a new kind of fast dissolved milk. *Current Scientific Research in the Modern World*, 5–3(25), 93–97. (In Russian)
17. Roman, B., Brennan, R. A., Lambert, J. D. (2021). Duckweed protein supports the growth and organ development of mice: A feeding study comparison to conventional casein protein. *Journal of Food Science*, 86(3), 1097–1104. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15635>
18. Guo, F., Han, M., Lin, S., Ye H., Chen J., Zhu H. et al. (2021). Enteromorpha prolifera polysaccharide prevents high-fat diet-induced obesity in hamsters: A NMR-based metabolomic evaluation. *Journal of Food Science*, 86(8), 3672–3685. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15818>
19. Batura N. G., Tipsina N. N. (2019). Study of the influence of cereal flakes on the quality of bakery products. *Bulletin OF KSAU*, 12(153), 169–175. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2019-12-169-175> (In Russian)
20. Savelyeva, E.V., Zinurova, E.E., Mingaleeva, Z.S., Maslov, A.V., Starovoitova, O.V., Borisova, S.V. et al. (2019). The study of the possibility of using the additive of plant origin for improvement the quality of yeast and wheat bread. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 7(Special Issue), 1036–1040.
21. Zinurova, E.E., Bagaeva, T.V., Mingaleeva, Z.S., Starovoitova, O.V., Reshetnik, O.A. (2015). Influence of S. cerevisiae yeast as a part of the recipe component of flour confectionery on the quality of deep-fat frying. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6(6), 1751–1755.
22. Pereverzeva, E.R., Treschalina, M.I., Golibrodo, V.A., Tevyashova, A.N., Treschalina, I.D. (2018). Toxicological study of olivamide in chronic experiment on rabbits. *Russian Journal of Biotherapy*, 17(4), 91–97. <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2018-17-4-91-97> (In Russian)
23. Katsnelson, B.A., Varaksin, A.N., Panov, V.G., Privalova, L.I., Minigalieva, I.A., Kireyeva, E.P. (2015). Experimental modeling and mathematical description of the chronic combined toxicity as a basis of multi-factor chemical health risks analysis. *Toxicological Review*, 5(134), 37–45. (In Russian)
24. Kuzlyakina, Yu.A., Yurchak, Z.A., Kryuchenko, E.V. (2018). Analysis of the reasons for the implementation of a food safety management system in enterprises producing packaging for food products. *Vsyo o myase*, 6, 28–30. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-6-28-30> (In Russian)
25. Yankovskaya, V.S., Dunchenko, N.I. (2020). Scientific concept of modeling and forecasting of food safety and quality indicators. *Milk Industry*, 11, 38–39. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-11-38-39> (In Russian)
26. Amelin, V.G., Lavrukina, O.I. (2017). Food safety assurance using methods of chemical analysis. *Journal of Analytical Chemistry*, 72(1), 3–49. <https://doi.org/10.7868/S0044450217010030> (In Russian)
27. Prishchepova, T.S., Patieva, S.V. (2015). Nutritional, biological value of new types of meat-and-cereal preserves for dietary preventive human nutrition. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*, 10(3(37)), 140–143. <https://doi.org/10.12737/14787> (In Russian)
28. Moliboga E. A. (2016). Expansion of variety line of functional food products by developing technologies of processed cheese product for specialized nutrition. *Agrarian Bulletin OF THE Urals*, 5(147), 74–77. (In Russian)
29. Arefyeva, E. V., Muravyeva, E. V., Maslennikova, N. N. (6–9 October 2020). *Environmental risks caused by floods in built-up areas*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vladivostok, 666(5), Article 052032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/5/052032>
30. Romanovsky, V. L., Alekseeva, E. I., Gorina, L. N. (6–12 September 2020). *Conducting a comparative analysis of the system state options under various external influences*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, 962(4), Article 042035. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042035>
31. Arefyeva, E., Gorina, L., Alekseeva, E. (2022). Assessment of the Vulnerability of Architectural Monuments to Dangerous Natural Processes. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 180, 159–170. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8_15
32. Shanina, E.P., Klyukina, E.M., Stafeyeva, M.A., Belyaeva, N.V. (2021). Potential of potatoes as a source of nutritional value: Amino acid composition of protein in tubers of potatoes of the Ural region, Russia. *Research on Crops*, 22(Special Issue), 108–112. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.026>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Гумеров Тимофей Юрьевич — кандидат химических наук, доцент, кафедра Технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68 Тел.: +7–843–231–43–54 E-mail: tt-timofei@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2170-1039 * автор для контактов	Timofey Y. Gumerov, Candidate of Chemical Sciences, Docent, Department of Food Production Technology, Kazan National Research Technological University. 68, K. Marks str., 420015, Kazan, Russia Тел.: +7–843–231–43–54 E-mail: tt-timofei@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2170-1039 * corresponding author
Усманова Аделя Рафаэлевна — студент, Институт пищевых производств и биотехнологии, Факультет пищевых технологий, Казанский национальный исследовательский технологический университет 420015 г. Казань, ул.К.Маркса, 68 Тел.: +7–843–231–43–54 E-mail: adelya_rafal@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2082-9732	Adelya R. Usmanova, Student, Institute of Food Production and Biotechnology, Faculty of Food Technology, Kazan National Research Technological University 68, K. Marks str., 420015, Kazan, Russia Тел.: +7–843–231–43–54 E-mail: adelya_rafal@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2082-9732
Мингалева Замира Шамиловна — доктор технических наук, доцент, профессор, Кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет 420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68 Тел.: +7–843–231–95–83 E-mail: mingaleeva06@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3076-9104	Zamira Sh. Mingaleeva, Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor, Department of Food Production Technology, Kazan National Research Technological University 68, K. Marks str., 420015, Kazan, Russia Тел.: +7–843–231–95–83 E-mail: mingaleeva06@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3076-9104
Тарасова Евгения Юрьевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатория микотоксинов, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности 420075, г. Казань, Научный городок-2 Тел.: +7–843–239–53–20 E-mail: Evgenechka1885@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9056-5798	Evgeniya Y. Tarasova, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Mycotoxin Laboratory, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety Scientific town-2, 420075 Kazan, Russia Тел.: +7–843–239–53–20 E-mail: Evgenechka1885@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9056-5798
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/10.21323/2618-9771-2022-5-1-23-29>

Поступила 24.01.2022

Поступила после рецензирования 15.02.2022

Принята в печать 25.02.2022

© Корниенко В. Ю., Минаев М. Ю., 2022



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

Научная статья

Open access

ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Корниенко В. Ю.*, Минаев М. Ю.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

3D-печать,
аддитивные технологии

АННОТАЦИЯ

В статье сделан обзор существующих схем 3D-принтеров для печати съедобными компонентами. Рассмотрены основные виды экструдеров, используемых для печати пищевыми смесями. Описаны перспективные компоненты, на основе которых возможно создание смесей для пищевой 3D-печати. Приведены примеры успешного применения 3D-печати для создания пищевых продуктов. Рассмотрено понятие 4D-печати.

Received 24.01.2022

Accepted in revised 15.02.2022

Accepted for publication 25.02.2022

© Kornienko V. Yu., Minaev M. Yu., 2022

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

Original scientific article

Open access

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF 3D FOOD PRINTING

Vladimir Yu. Kornienko*, Mihail Yu. Minaev

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

KEY WORDS:

3D-printing,
additive technology

ABSTRACT

This article reviews the currently existing schemes of 3D printers assigned for printing with edible components. The main types of extruders used for printing with food mixtures are considered in the article. Promising components are described, which serve as a base for creating the mixtures for 3D food printing. Examples of the successful application of 3D printing to create food products are given. The concept of 4D printing is considered.

1. Введение

Трехмерная печать (3D-печать) представляет собой процесс создания физического объекта из трехмерной цифровой модели [1,2]. Технология 3D-печати использует в качестве материалов для печати съедобные материалы, например, шоколад, мастика, сахар, взбитый творог, овощные и фруктовые пасты, рыбные и мясные паштеты, тесто, сыр и т. д. (Рисунок 1). В литературе, посвященной аддитивным технологиям, композитные материалы для 3D-печати также называют композитными чернилами, филаментом, сырьем (или составом) для 3D-печати, все эти слова являются синонимами.

Быстро растущее число публикаций по различным аспектам 3D-печати пищевых продуктов указывает на интерес к этой технологии [3]. Потенциал предоставления персонализированного питания и персонализированного выбора продуктов питания может быть одной из причин того, что технология 3D-печати пищевых продуктов развивается так стремительно.

Технология 3D-печати позволяет создавать продукты питания для удовлетворения потребностей людей с различными вкусовыми предпочтениями и диетическими потребностями [4]. Искусственно созданные пищевые продукты через добавление определенных питательных веществ и определенных компонентов или через замену определенных ингредиентов в рецептуре могут способствовать укреплению здоровья и профилактике болезней [5].

Технология 3D-печати персонализирует питание, позволяя производить продукты, которые удовлетворяют

требованиям потребителей в соответствии с их профессией, полом, возрастом и образом жизни [6]. Отмечается, что возможность использования обезвоженных компонентов позволяет создавать пищу для космонавтов и военизированных подразделений с использованием 3D-печати [7].

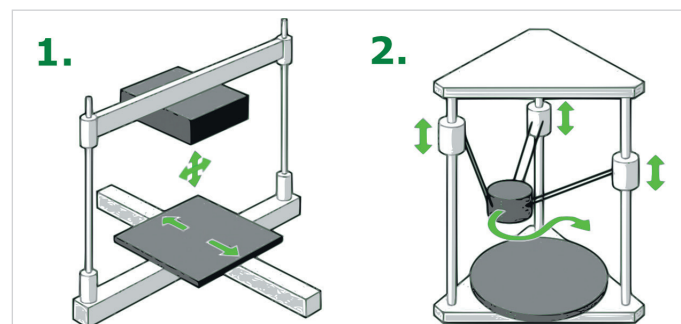


Рисунок 1. Различные схемы 3D-принтеров
(1-X, Y схема; 2-дельта схема)

Figure 1. Various schemes of 3D printers (1-X, Y scheme, 2- delta scheme)

Zhao и др. [3] предлагают следующую схему применения 3D-печати для больных диабетом. Пациенты с диабетом загружают данные об уровне глюкозы в крови на платформу облачного сервиса, затем компьютер с помощью программы вычисляет сбалансированный по содержанию сахаров рецепт, после чего 3D-принтер для пищевых продуктов создает индивидуальное блюдо. Также напечатанная еда с улучшенным вкусом и внешним видом может быть более

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Корниенко, В. Ю., Минаев, М. Ю. (2022). Тенденции в развитии трехмерной печати продуктов питания. *Пищевые системы*, 5(1), 23-29. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-23-29>

FOR CITATION: Kornienko, V. Yu., Minaev, M. Yu. (2022). Trends in the development of 3d food printing. *Food systems*, 5(1), 23-29. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-23-29>

привлекательной для пожилых людей и пациентов с дисфагией [8]. Напечатанные продукты могут быть обогащенными животным белком, а также специально разработанными так, чтобы подходить по внутренней текстуре и быть привлекательными для людей с различными болезнями. Желаемая внутренняя текстура достигается за счет использования различных сопел и режимов заполнения [3]. Напечатанные продукты могут создаваться для удовлетворения особых потребностей подростков и детей [9].

Таким образом, 3D-печать позволяет изготавливать персонализированные продукты питания, содержащие компоненты, подобранные для индивидуального организма.

2. Основные схемы устройства 3D-принтеров для создания пищевых продуктов

Развитие аддитивных технологий связано не только с развитием оборудования, но и с поиском новых смесей для пищевой 3D-печати. Устройство пищевого 3D-принтера, как правило, является универсальным и схожим со схемами для 3D-печати из других отраслей (Рисунок 1). Основными схемами устройств, используемыми для 3D-печати, являются: дельта схема; схема с экструдером, перемещающимся по осям X и Y; X и Z; X, Y и Z (Таблица 1). Среди перечисленных схем выделяется дельта схема, остальные схемы визуально похожи между собой. В этой ситуации основной движущей силой, развивающей прогресс в 3D-печати, может стать именно разработка новых рецептов смесей для 3D-печати. Далее будут перечислены перспективные компоненты для таких смесей.

Таблица 1. Сравнение преимуществ и недостатков различных схем 3D-принтеров

Table 1. Comparison of advantages and disadvantages of various schemes of 3D printers

Схема 3D-принтера	Преимущества	Недостатки
Дельта схема	Большая скорость печати и возможность печати относительно крупных объектов.	Более низкое разрешение печати, влияющее на качество изделия.
X, Y схема	Наиболее популярные схемы из-за характеристик по скорости печати и разрешению.	Плохо подходит для печати относительно крупных объектов.
X, Z схема	Предметный стол принтера с изделием закреплен неподвижно.	
X, Y, Z схема		

3. Ксантановая камедь

Ксантановая камедь является одним из наиболее широко используемых гидроколлоидов при 3D-печати пищевых продуктов, который действует как загуститель и желирующий агент [10]. Установлено, что ксантановая камедь обладает функцией антиоксиданта и способствует укреплению иммунитета [11]. Kim и др. [12] показали, что добавление ксантановой камеди решает проблему деформации во время выпечки напечатанных на 3D-принтере печений. Добавление от 0,5 г до 100 г ксантановой камеди в сырье для 3D-печати улучшало термические свойства образца печенья, созданного с использованием 3D-принтера. При этом его текстура была аналогична текстуре контрольного печенья, созданного обычным способом, также полученный образец был похож на контрольное печенье по твердости и способности к деформации. Таким образом, для 3D-непечатных изделий, которые могут подвергаться воздействию высоких температур во время технологического процесса, структурирующие и уплотняющие свойства ксантановой камеди могут быть использованы с целью повышения их механической прочности [3]. Kim и др. в другой такой работе [13] сообщили, что ксантановая камедь улучшает однородность печати, когда в качестве печатных материалов

используются вещества, содержащие порошки высушенной моркови, шпината и брокколи. По другим данным, добавление ксантановой камеди улучшает связывание компонентов в гетерогенных системах [14]. Ксантановая камедь также используется в рецептурах на основе крахмала для изменения реологических свойств материалов из-за ее сильной влагоудерживающей способности [3,15,16].

4. Пектин

Пектин — это природный гидроколлоид. В пищевой промышленности он используется в качестве структурообразователя (гелеобразователя) и загустителя. Также он применяется при 3D-печати, когда требуется желирующий агент. Внутри желудочно-кишечного тракта пектин сохраняет способность сгущать раствор и, следовательно, оказывает множество физиологических эффектов на организм человека. В том числе он улучшает обмен липидов и холестерина [3]. Также пектин обладает некоторыми уникальными свойствами, позволяющими использовать его для профилактики таких болезней, как ожирение, рак, атеросклероз и кишечные инфекции [17]. Vancanwenberghe с соавторами [18] использовали гель с низким содержанием метоксилированного пектина в качестве 3D-чернил для печати лабораторных образцов на основе пектина. Они также продемонстрировали, что пузырьки воздуха и растительные клетки могут быть успешно внедрены в композитные чернила на основе пектина. Отмечается, что для приготовления пектиновых 3D-чернил используют способность ионов Ca^{2+} образовывать поперечные связи между карбоксильными группами молекул пектина [18,19,20].

5. Пищевые волокна

Овощи содержат большое количество пищевых волокон и биологически активных веществ, которые важны для укрепления здоровья и профилактики болезней [21].

Целлюлоза является самым распространенным полимером на земле, а также одним из важнейших для организма человека нерастворимых волокон. Однако в человеческом организме нет необходимых ферментов для переваривания этого вещества [3,22]. Для использования в 3D-печати пищевые волокна измельчают и смешивают с ксантановой камедью и (или) глюкоманнаном [3].

Kim и др. [13] разработали составы для 3D-печати, содержащие от 10% до 30% (по массе) растительных порошков (моркови, шпината и брокколи). Их исследование показало, что увеличение содержания порошка с 10% до 30% существенно влияло на реологические свойства и качество печати. Было обнаружено, что добавление ксантановой камеди в рецептуру уменьшало различия в физических свойствах у порошков между различными растительными источниками. Lee и соавторы [23] использовали порошки шпината с различным размером частиц с целью изучения их пригодности для 3D-печати. Результаты показали, что при размере частиц 307 мкм улучшалась механическая прочность напечатанного объекта при сохранении его формы, структуры и гладкости поверхности [23]. Derossi и др. [24] использовали грушу, морковь, листья брокколи, киви и авокадо в качестве печатных материалов и изготовили смузиподобные продукты с помощью 3D-печати. Эти продукты имели пирамидальную форму и были визуально привлекательными. Технология 3D-печати не повлияла на содержание ароматических соединений, антиоксидантную способность и на такие характеристики, как цвет, вкус и запах [24]. Huang и др. [25] изготовили продукт с использованием рецептуры на основе коричневого риса вместе с гуаровой и ксантановой камедью в рецептуре. Коричневый рис содержит пищевые волокна,

глутамат, глутатион, полисахарид рисовых отрубей, инозитол и другие соединения, способствующие укреплению здоровья [25]. Содержание пищевых волокон в коричневом рисе в шесть раз больше, чем в белом рисе. Это исследование показывает, что, используя 3D-печать, можно производить продукты, подходящие людям с диабетом, при котором требуется медленное переваривание крахмала [26]. Lille с соавторами [27] разработали 3D-печатные структуры, используя рецептуры, богатые белком и клетчаткой, с низким содержанием сахара и жира. Лучшие напечатанные структуры были получены на основе рецептур, содержащих 10% крахмала (холодного набухания), 15% сухого обезжиренного молока, 60% сухого полуобезжиренного молока, 30% ржаных отрубей, 35% овсяного белка или 45% белка бобов фаба (*Vicia faba* L.) [27]. Другие водорастворимые пищевые волокна, такие как гуаровая камедь, агар-агар, мальтодекстрин (паточка), также широко используются в качестве материалов для 3D-печати с целью изучения различных параметров печати.

6. Пробиотики и водоросли

Считается, что добавление пробиотических бактерий может быть полезным для организма человека [3]. Пробиотические бактерии способны не только продуцировать антимикробные вещества, но и благотворно влиять на состояние иммунитета человека. Живые пробиотические бактерии могут быть добавлены в смеси для печати продуктов питания. Технология 3D-печати подразумевает термическое воздействие, поэтому большая выживаемость пробиотических бактерий важна при использовании этой технологии. Так, Zhang и др. исследовали технологию, включающую процесс культивирования *Lactobacillus plantarum* и дальнейшее добавление этого микроорганизма в смесь для 3D-печати [28]. Этими исследователями была оценена выживаемость бактерий в процессе 3D-печати. При выпекании в диапазоне температур от 145 °C до 205 °C концентрация бактерий не изменялась, в то же время при выпекании при 145 °C в течение 6 мин концентрация бактерий составляла больше 10⁶ КОЕ/г. An и др. изучили возможность добавления цианобактерий *Nostoc sphaeroides* в смеси для 3D-печати на основе картофельного крахмала [29]. В результате было определено, что гидратация смеси для 3D-печати существенно улучшает качество создаваемых продуктов. Другой группой исследователей изучена возможность включения *Bifidobacterium animalis* в картофельное пюре, которое в дальнейшем было использовано для 3D-печати [30]. Авторы использовали разные диаметры сопла экструдера и разные температуры. В результате было определено, что при использовании самого маленького диаметра сопла 3D-принтера (0,6 мм) концентрация бактерий уменьшалась очень незначительно. В то же время при нагревании в течение 45 мин при 55 °C концентрация бактерий значительно снижалась.

7. Белок гороха

Считается, что белок гороха лучше усваивается организмом человека по сравнению с белком сои [31]. Также белок гороха богат незаменимыми аминокислотами [32]. Feng и др. [33] исследовали влияние белка гороха на композитную смесь на основе картофельного крахмала, разработанную для применения в 3D-печати. Они показали, что текстурные, термические и структурные свойства наполнителя для печати на основе крахмала существенно улучшились при добавлении белка гороха. Добавление 1% горохового белка в наполнитель позволило получить высококачественный продукт после 3D-печати (Рисунок 2). Кроме того, белок гороха способствовал желатинизации, повышению гидрофобности поверхно-

сти и обеспечивал ощущение специфического вкуса [31]. Zhao и др. отмечают, что его можно использовать для замены жира в низкокалорийных пищевых продуктах, что снизит частоту возникновения ожирения, атеросклероза и злокачественных опухолей у потребителей [3].



8. Яичный альбумин

Основным белком в курином яйце является альбумин, его концентрация, по разным данным, составляет 54–65% [34,35]. Яичный альбумин также называют овальбумином [33]. Овальбумин относится к группе белков серпинов, но он не обладает способностью ингибировать сериновые протеазы. Исторически овальбумин является одним из первых белков, которые удалось получить в чистом виде. Яичный альбумин имеет массу около 45 кДа и состоит из 385 аминокислотных остатков. Пептидная цепь овальбумина подвергается посттрансляционной модификации, его N-конец ацетируется, аспарат в 292 позиции гликозилируется, сериновые остатки в позициях 68 и 344 фосфорилируются [36]. Он может образовывать конъюгаты с сахарами (глюкозой, мальтозой и лактозой) и растворимым крахмалом [37]. Яичный альбумин легко образует съедобный гель при простом нагревании. Благодаря этим преимуществам, яичный альбумин в настоящее время широко используется для разработки продуктов с использованием 3D-печати [3].

Li и др. разработали рецептуру для 3D-печати, которая содержала белок яичного белка, сахарозу, кукурузный крахмал и желатин [38]. Результаты реологических и трибологических исследований показали, что оптимальным для наилучшего качества печати является содержание альбумина 5,0% (по массе). Включение альбумина в указанной концентрации повышало упругость и твердость геля и обеспечивало сохранение формы напечатанной пищи. В другом исследовании Li и др. создали рецептуру для 3D-печати продуктов, имеющую следующий состав: 12,98 г альбумина, 19,72 г кукурузного крахмала, 4,27 г желатина и 8,02 г сахарозы в 250 мл воды [39].

9. Сывороточный белок

В пищевой 3D-печати сывороточный белок используется в двух разновидностях, это так называемый концентрат и непосредственно выделенный и очищенный белок. Эти две разновидности различаются по степени очистки белка от посторонних примесей. Иногда они маркируются как WPI (90% белка) для изолята и WPC (от 55 до 89% белка) для концентрата [3,40]. Li и др. [40] разработали продукты с использованием 3D-печати на основе смесей с добавлением WPI и WPC и изучили влияние концентрации сывороточного белка на качество продуктов, полученных с использованием аддитивных технологий. Авторы обнаружили, что

добавление WPI и WPC снижает вязкость, что полезно для процесса 3D-печати. Сообщалось, что смесь для печати, приготовленная с использованием сывороточного белка (соотношения 2/5 WPI к WPC), обладает оптимальной способностью к печати [41]. В другом исследовании эти же авторы [41] создали композитный материал с использованием сывороточного белка путем смешивания WPC с раствором казеината натрия. Концентрация общего белка в композитном материале для 3D-печати была 400–450 г/л. Композитная смесь с этой концентрацией показала наилучшую производительность при печати и наилучшую пригодность для создания разработанной модели [3,42].

10. Витамины и микроэлементы

Многими исследователями отмечается, что пища людей должна быть сбалансирована по количеству витаминов и микроэлементов. Для продуктов, созданных искусственным путем, например, с использованием 3D-печати, важно наличие витаминов и микроэлементов.

Scerra и др. [42] разработали комплексный материал для 3D-печати, содержащий витамин Е. Он является жирорастворимым витамином с антиоксидантными свойствами. Известно, что добавление ацетата витамина Е продлевает срок хранения, например, арахисового масла. Исследователи сравнили снижение концентрации витамина Е при использовании двух технологий. Первая технология была классическим способом приготовления продукта с использованием термической обработки, а вторая технология подразумевала использование 3D-печати, в которой присутствовал нагрев. В процессе 3D-печати было выявлено снижение концентрации витамина Е на 24%, что было ниже, чем снижение концентрации на 42% из-за термической обработки [43]. Azam и др. добавили раствор витамина D в смесь апельсинового концентрата, пшеничного крахмала и жевательной резинки для получения конечного продукта, обогащенного витамином D с использованием 3D-печати [44].

При планировании рецептуры продукта может быть предусмотрено добавление ионов кальция в виде казеината кальция. При этом исследования показали, что добавление казеината кальция в тесто улучшало не только качество 3D-печати, но и стабильность структуры после печати [3]. Так, например, Zhang и др. в экспериментах по 3D-печати добавляли казеинат кальция в тесто до конечной концентрации 3% [28].

Derossi и др. использовали 3D-печать для создания прототипа продукта [24]. В основе рецептуры их смеси для 3D-печати был гомогенизированный банан (как основной ингредиент), с добавлением молока, грибов, белой фасоли и ангорбиновой кислоты.

Отмечается, что в качестве источника микроэлементов можно использовать фруктовый сок. Добавление фруктового сока может придать пище те или иные органолептические характеристики [3].

11. 3D-печать живыми растительными клетками

Современные технологии позволяют осуществлять печать живыми клетками. Преимуществом такого подхода является то, что клетки, нанесенные на подложку, продолжают расти, создавая внутреннюю текстуру, свойственную естественному продукту.

Vancauwenberghe и др. исследовали возможность печати растительными клетками. Они смешивали живые клетки салата (*Valerianella locusta*) с пектином, далее этой смесью осуществлялась 3D-печать [18]. Авторы отметили, что меха-

нические свойства продукта, полученного таким способом, в значительной степени зависели от концентрации пектина. Park и др. создали модель гидрогеля, содержащего клетки моркови (*Daucus carota* L.) [45]. После 3D-печати клетки, находящиеся в гидрогеле, продолжали расти, образуя кластеры, формирующие текстуру продукта.

12. 4D-печать продуктов питания

При 4D-печати подразумевается, что продукт после 3D-печати претерпевает некое изменение (цвета, аромата, вкуса или формы) [46]. Первоначально понятие 4D-печати было лишь концепцией, предложенной Miao и др., однако по мере развития технологии 3D-печати оно прижилось и в настоящий момент используется повсеместно [47]. Считается, что Wang и др. — первые, кто изготовил пищевой продукт, использующий дальнейшее пространственное преобразование [48]. Ими были изготовлены пластины, которые под воздействием анизотропного набухания принимали необходимую пространственную форму. Tao и др. определили, что в процессе обезвоживания продукты из теста (выпечка) могут изменять форму, что может быть использовано для целей 4D-печати [49]. Также сообщается о создании с помощью 4D-печати продуктов, способных изменять свой цвет по прошествии времени [3]. Это явление может достигаться как за счет изменения pH, так и путём химического взаимодействия компонентов пищи.

13. Выводы

Первоначально основное применение 3D-печати виделось как создание индивидуализированных продуктов питания для определенных категорий больных. Однако по мере развития этой технологии стало понятно, что в будущем пищевой 3D-принтер может стать обычным домашним аксессуаром. Вполне возможно, что в перспективе различные изделия из теста будут проще распечатать на 3D-принтере, чем изготавливать их обычным способом. Что же касается сложных изделий из шоколада, то их изготовление с использованием 3D-печати уже сейчас обладает преимуществом по сравнению с классической технологией. При этом пищевой 3D-принтер как устройство является достаточно универсальным аппаратом, способным работать с разными пищевыми материалами.

Одним из плюсов описываемой технологии является возможность быстрого переключения с производства одних продуктов на производство других продуктов питания. Фактически это переключение происходит без изменения производственной линии. Это, в свою очередь, создает новые вызовы в сфере правового регулирования и определения требований к организации производства с использованием 3D-печати. Ведь оборудование для различных видов 3D-печати часто взаимозаменяемо, поэтому пищевая смесь в 3D-принтере может быть заменена, например, глиной, и то же самое оборудование может быть быстро перепрофилировано для печати керамических изделий, что не совместимо с производством продуктов питания.

Так как описываемая технология является универсальной, вероятно, внедрение технологии 3D-печати затронет также и производства мясных полуфабрикатов. В основном перспективными считают два способа: это 3D-печать фаршем и печать суспензией живых клеток на сеткообразную подложку. Второй способ подразумевает, что клетки будут делиться и формировать некое подобие естественных мышечных тканей. Вероятно, эта технология способствует гуманизации мясных производств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Gorbunova, N. A. (2020). Possibilities of additive technologies in the meat industry. A review. *Theory and Practice of Meat Processing*, 5(1), 9–16. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2020-5-1-9-16>
- Дресвянников, В. А., Спыхов, Е. П., Возмищева, А. С. (2017). Анализ применения аддитивных технологий в пищевой промышленности. *Продовольственная политика и безопасность*, 4(3), 133–139. <https://doi.org/10.18334/ppib.4.3.38500>
- Zhao, L., Zhang, M., Chitrakar, B., Adhikari, B. (2020). Recent advances in functional 3D printing of foods: a review of functions of ingredients and internal structures. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(21), 3489–3503. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1799327>
- Li, P., Mellor, S., Griffin, J., Waelde, C., Hao, L., Everson, R. (2014). Intellectual property and 3D printing: A case study on 3D chocolate printing. *Journal of Intellectual Property Law and Practice*, 9(4), 322–332. <https://doi.org/10.1093/jiplp/jpt217>
- Severini, C., Derossi, A. (2016). Could the 3D printing technology be a useful strategy to obtain customized nutrition? *Journal of Clinical Gastroenterology*, 50, S175–S178. <https://doi.org/10.1097/MCG.0000000000000705>
- Rodgers, S. (2016). Minimally processed functional foods: Technological and operational pathways. *Journal of Food Science*, 81(10), R2309–R2319. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15422>
- Terfahsny, M.L., Thangavelu, M. (September 10–12, 2013). *3D printing of food for space missions*. AIAA SPACE2013 Conference and Exposition. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., San Diego, CA. <https://doi.org/10.2514/6.2013-5346>
- Portanguen, S., Tournayre, P., Sicard, J., Astruc, T., Mirade, P. S. (2019). Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 188–198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.023>
- Hamilton, C. A., Alici, G., Panhuis, M. I. H. (2018). 3D printing vegemite and marmite: Redefining “breadboards”. *Journal of Food Engineering*, 220, 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.008>
- Saha, D., Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587–597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>
- Liu F., Zhang X., Ling P., Liao J., Zhao M., Mei L. et al. (2017). Immunomodulatory effects of xanthan gum in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages. *Carbohydrate Polymers*, 169, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.003>
- Kim, H. W., Lee, J. J., Park, S. M., Lee, J. H., Nguyen, M.-H., Park, H. J. (2019). Effect of hydrocolloid addition on dimensional stability in post-processing of 3D printable cookie dough. *LWT*, 101, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.019>
- Kim, H. W., Lee, J. H., Park, S. M., Lee, M. H., Lee, I. W., Doh, H. S., Park, H. J. (2018). Effect of hydrocolloids on rheological properties and printability of vegetable inks for 3D food printing. *Journal of Food Science*, 83(12), 2923–2932. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14391>
- Holland, S., Tuck, C., Foster, T. (2018). Selective recrystallization of cellulose composite powders and microstructure creation through 3D binder jetting. *Carbohydrate Polymers*, 200, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.064>
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B. (2018). Effect of gums on the rheological, microstructural and extrusion printing characteristics of mashed potatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 1179–1187. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.048>
- Liu, Z., Bhandari, B., Prakash, S., Mantihal, S., Zhang, M. (2019). Linking rheology and printability of a multicomponent gel system of carrageenan-xanthan-starch in extrusion based additive manufacturing. *Food Hydrocolloids*, 87, 413–424. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.026>
- Lattimer, J. M., Haub, M. D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, 2(12), 1266–1289. <https://doi.org/10.3390/nu2121266>
- Vancauwenberghe, V., Baiye Mfortaw Mbong V., Vanstreels, E., Verboven, P., Lammertyn, J., Nicolai, B. (2019). 3D printing of plant tissue for innovative food manufacturing: Encapsulation of alive plant cells into pectin based bio-ink. *Journal of Food Engineering*, 263, 454–464. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.003>
- Vancauwenberghe, V., Verboven, P., Lammertyn, J., Nicolai, B. (2018). Development of a coaxial extrusion deposition for 3D printing of customizable pectin-based food simulant. *Journal of Food Engineering*, 225, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.01.008>
- Fraeye, I., Colle, I., Vandevenne, E., Duvetter T., Van Buggenhout S., Moldenaers P. et al. (2010). Influence of pectin structure on texture of pectin-calcium gels. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(2), 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.08.015>
- Liu, R.H. (2003). Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3 SUPPL.), 517S–520S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.517S>
- Wuestenberg, T. (2014). Cellulose and cellulose derivatives in the food industry: Fundamentals and applications. London, UK: John Wiley and Sons Ltd.
- Lee, J. H., Won D. J., Kim H. W., Park H. J. (2019). Effect of particle size on 3D printing performance of the food-ink system with cellular food materials. *Journal of Food Engineering*, 256, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.014>
- Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., Severini, C. (2018). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *Journal of Food Engineering*, 220, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015>
- Huang, M.-S., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Assessing the 3D Printing Precision and Texture Properties of Brown Rice Induced by Infill Levels and Printing Variables. *Food and Bioprocess Technology*, 12(7), 1185–1196. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02287-x>
- Qi, L., Yu, L., Yu, Y. (2015). Research advancement in the nutritional value and processing technologies of brown rice. *Food and Nutrition in China*, 3, 68–71.
- Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsa-Kortelainen, S., Sozer, N. (2018). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034>
- Zhang, L., Lou, Y., Schutyser, M. A. I. (2018). 3D printing of cereal-based food structures containing probiotics. *Food Structure*, 18, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.10.002>
- An, Y.-J., Guo, C.-F., Zhang, M., Zhong, Z.-P. (2019). Investigation on characteristics of 3D printing using Nostoc sphaeroides biomass. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 639–646. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9226>
- Liu, Z., Bhandari, B., Zhang, M. (2020). Incorporation of probiotics (*Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis*) into 3D printed mashed potatoes: Effects of variables on the viability. *Food Research International*, 128, Article 108795. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108795>
- Zhang, Q., Han, D., Li, D. (2012). Nutritional components and functional properties of yellow pea. *Food Science and Technology*, 37, 141–144.
- Palander, S., Laurinen, P., Perttilä, S., Valaja, J., Partanen, K. (2006). Protein and amino acid digestibility and metabolizable energy value of pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds for turkeys of different age. *Animal Feed Science and Technology*, 127(1–2), 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2005.07.003>
- Feng, C., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Materials properties of printable edible inks and printing parameters optimization during 3D printing: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(19), 3074–3081. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1481823>
- Huntington, J. A., Stein P. E. (2001). Structure and properties of ovalbumin. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 756(1–2), 189–198. [https://doi.org/10.1016/s0378-4347\(01\)00108-6](https://doi.org/10.1016/s0378-4347(01)00108-6)
- Chen, C., Huang, X., Ma, M. H. (2015). Research advances on antioxidative proteins in egg. *China Poultry*, 21, 43–47.
- Nisbet, A. D., Saundry, R. H., Moir, A. J. G., Fothergill, L. A., Fothergill, J. E. (1981). The complete amino-acid sequence of hen ovalbumin. *European Journal of Biochemistry*, 115(2), 335–345. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1981.tb05243.x>
- Nakamura, S., Kato, A., Kobayashi, K. (1992). Enhanced antioxidative effect of ovalbumin due to covalent binding of polysaccharides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(11), 2033–2037. <https://doi.org/10.1021/jf00023a001>
- Liu, L., Meng, Y., Dai, X., Chen, K., Zhu, Y. (2019). 3D printing complex egg white protein objects: Properties and optimization. *Food and Bioprocess Technology*, 12(2), 267–279. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2209-z>
- Liu, L., Yang, X., Bhandari, B., Meng, Y., Prakash, S. (2020). Optimization of the formulation and properties of 3D-printed complex egg white protein objects. *Foods*, 9(2), Article 9020164. <https://doi.org/10.3390/foods9020164>
- Zhang, Z.-H., Peng, H., Woo, M.W., Zeng, X.-A., Brennan, M., Brennan, C. S. (2020). Preparation and characterization of whey protein isolate-chlorophyll microcapsules by spray drying: Effect of WPI ratios on the physicochemical and antioxidant properties. *Journal of Food Engineering*, 267, Article 109729. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109729>
- Liu, Y., Liu, D., Wei, G., Ma, Y., Bhandari, B., Zhou, P. (2018). 3D printed milk protein food simulant: Improving the printing performance of milk protein concentration by incorporating whey protein isolate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.018>
- Liu, Y., Yu, Y., Liu, C., Regenstein, J. M., Liu, X., Zhou, P. (2019). Rheological and mechanical behavior of milk protein composite gel for extrusion-based 3D food printing. *LWT — Food Science and Technology*, 102, 338–346. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.053>
- Scerra, M. A., Barrett, S., Eswaranandam, S., Okamoto, M. (2018). Effects of 3D printing and thermal post processing on the stability of vitamin E acetate. *Journal of the American Academy of Nutrition and Dietetics*, 118(10), Poster Session: Food/Nutrition Science; Education; Management; Food Services/Culinary; Research, A148. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.08.101>
- Azam, R. S. M., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. (2018). Effect of different gums on features of 3D printed object based on vitamin-D enriched orange concentrate. *Food Biophysics*, 13(3), 250–262. <https://doi.org/10.1007/s11483-018-9531-x>

45. Park, S. M., Kim, H. W. Park, H. J. (2020). Callus-based 3D printing for food exemplified with carrot tissues and its potential for innovative food production. *Journal of Food Engineering*, 271, Article 109781. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109781>
46. Николаев, Н. С., Корниенко, В. Н., Пляшешник, П. И. (2021). Особенности холодильной обработки замороженных десертов. *Молочная промышленность*, 2, 55–57. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-02-55-57>
47. Miao, S., Castro, N., Nowicki, M., Xia, L., Cui, H., Zhou, X. et al. (2017). 4D printing of polymeric materials for tissue and organ regeneration. *Materials Today*, 20(10), 577–591. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.06.005>
48. Wang, W., Yao, L., Zhang, T., Cheng, C.-Y., Levine, D., Ishii, H. (6–11 May, 2017). *Transformative appetite: Shape-changing food transforms from 2D to 3D by water interaction through cooking*. Conference on Human Factors in Computing Systems — Proceedings, 6123–6132. <https://doi.org/10.1145/3025453.3026019>
49. Tao, Y., Do, Y., Yang, H., Lee, Y.-C., Wang, G., Mondoa, C. et al. (2019). Morphlour: Personalized flour-based morphing food induced by dehydration or hydration method. *UIST 2019 — Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 329–340. <https://doi.org/10.1145/3332165.3347949>

REFERENCES

1. Gorbunova, N. A. (2020). Possibilities of additive technologies in the meat industry. A review. *Theory and Practice of Meat Processing*, 5(1), 9–16. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2020-5-1-9-16>
2. Dresvyannikov, V. A., Strakhov, E. P., Vozmishcheva, A. S. (2017). Analysis of the application of additive technologies in the food industry. *Food Policy and Security*, 4(3), 133–139. <https://doi.org/10.18334/ppib.4.3.38500> (In Russian)
3. Zhao, L., Zhang, M., Chitrakar, B., Adhikari, B. (2020). Recent advances in functional 3D printing of foods: a review of functions of ingredients and internal structures. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(21), 3489–3503. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1799327>
4. Li, P., Mellor, S., Griffin, J., Waelde, C., Hao, L., Everson, R. (2014). Intellectual property and 3D printing: A case study on 3D chocolate printing. *Journal of Intellectual Property Law and Practice*, 9(4), 322–332. <https://doi.org/10.1093/jiplp/jpt217>
5. Severini, C., Derossi, A. (2016). Could the 3D printing technology be a useful strategy to obtain customized nutrition? *Journal of Clinical Gastroenterology*, 50, S175–S178. <https://doi.org/10.1097/MCG.0000000000000705>
6. Rodgers, S. (2016). Minimally processed functional foods: Technological and operational pathways. *Journal of Food Science*, 81(10), R2309–R2319. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13422>
7. Terfansky, M. L., Thangavelu, M. (September 10–12, 2013). *3D printing of food for space missions*. AIAA SPACE2013 Conference and Exposition. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., San Diego, CA. <https://doi.org/10.2514/6.2013-5346>
8. Portanguen, S., Tournayre, P., Sicard, J., Astruc, T., Mirade, P.S. (2019). Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 188–198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.025>
9. Hamilton, C. A., Alici, G., Panhuis, M. I. H. (2018). 3D printing vegemite and marmite: Redefining “breadboards”. *Journal of Food Engineering*, 220, 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.008>
10. Saha, D., Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587–597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>
11. Liu F., Zhang X., Ling P., Liao J., Zhao M., Mei L. et al. (2017). Immunomodulatory effects of xanthan gum in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages. *Carbohydrate Polymers*, 169, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.003>
12. Kim, H. W., Lee, J. I., Park, S. M., Lee, J. H., Nguyen, M.-H., Park, H. J. (2019). Effect of hydrocolloid addition on dimensional stability in post-processing of 3D printable cookie dough. *LWT*, 101, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.019>
13. Kim, H. W., Lee, J. H., Park, S. M., Lee, M. H., Lee, I. W., Doh, H. S., Park, H. J. (2018). Effect of hydrocolloids on rheological properties and printability of vegetable inks for 3D food printing. *Journal of Food Science*, 83(12), 2923–2932. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14391>
14. Holland, S., Tuck, C., Foster, T. (2018). Selective recrystallization of cellulose composite powders and microstructure creation through 3D binder jetting. *Carbohydrate Polymers*, 200, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.064>
15. Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B. (2018). Effect of gums on the rheological, microstructural and extrusion printing characteristics of mashed potatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 1179–1187. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.048>
16. Liu, Z., Bhandari, B., Prakash, S., Mantihal, S., Zhang, M. (2019). Linking rheology and printability of a multicomponent gel system of carrageenan-xanthan-starch in extrusion based additive manufacturing. *Food Hydrocolloids*, 87, 413–424. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.026>
17. Lattimer, J. M., Haub, M. D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, 2(12), 1266–1289. <https://doi.org/10.3390/nu2121266>
18. Vancauwenbergh, V., Baiye Mfortaw Mbong V., Vanstreels, E., Verboven, P., Lammertyn, J., Nicolai, B. (2019). 3D printing of plant tissue for innovative food manufacturing: Encapsulation of alive plant cells into pectin based bio-ink. *Journal of Food Engineering*, 263, 454–464. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.003>
19. Vancauwenbergh, V., Verboven, P., Lammertyn, J., Nicolai, B. (2018). Development of a coaxial extrusion deposition for 3D printing of customizable pectin-based food simulant. *Journal of Food Engineering*, 225, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.01.008>
20. Fraeye, I., Colle, I., Vandevenne, E., Duvetter, T., Van Buggenhout S., Moldenaers P. et al. (2010). Influence of pectin structure on texture of pectin–calcium gels. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(2), 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.08.015>
21. Liu, R. H. (2003). Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3 SUPPL.), 517S–520S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.517S>
22. Wu, T. (2014). *Cellulose and cellulose derivatives in the food industry: Fundamentals and applications*. London, UK: John Wiley and Sons Ltd.
23. Lee, J. H., Won D. J., Kim H. W., Park H. J. (2019). Effect of particle size on 3D printing performance of the food-ink system with cellular food materials. *Journal of Food Engineering*, 256, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.014>
24. Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., Severini, C. (2018). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *Journal of Food Engineering*, 220, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015>
25. Huang, M.-S., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Assessing the 3D Printing Precision and Texture Properties of Brown Rice Induced by Infill Levels and Printing Variables. *Food and Bioprocess Technology*, 12(7), 1185–1196. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02287-x>
26. Qi, L., Yu, L., Yu, Y. (2015). Research advancement in the nutritional value and processing technologies of brown rice. *Food and Nutrition in China*, 3, 68–71.
27. Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsa-Kortelainen, S., Sozer, N. (2018). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034>
28. Zhang, L., Lou, Y., Schutyser, M. A. I. (2018). 3D printing of cereal-based food structures containing probiotics. *Food Structure*, 18, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.foosr.2018.10.002>
29. An, Y.-I., Guo, C.-F., Zhang, M., Zhong, Z.-P. (2019). Investigation on characteristics of 3D printing using *Nostoc sphaeroides* biomass. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 639–646. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9226>
30. Liu, Z., Bhandari, B., Zhang, M. (2020). Incorporation of probiotics (*Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis*) into 3D printed mashed potatoes: Effects of variables on the viability. *Food Research International*, 128, Article 108795. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108795>
31. Zhang, Q., Han, D., Li, D. (2012). Nutritional components and functional properties of yellow pea. *Food Science and Technology*, 37, 141–144.
32. Palander, S., Laurinen, P., Perttilä, S., Valaja, J., Partanen, K. (2006). Protein and amino acid digestibility and metabolizable energy value of pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds for turkeys of different age. *Animal Feed Science and Technology*, 127(1–2), 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.07.003>
33. Feng, C., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Materials properties of printable edible inks and printing parameters optimization during 3D printing: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(19), 3074–3081. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1481823>
34. Huntington, J. A., Stein P. E. (2001). Structure and properties of ovalbumin. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 756(1–2), 189–198. [https://doi.org/10.1016/s0378-4347\(01\)00108-6](https://doi.org/10.1016/s0378-4347(01)00108-6)
35. Chen, C., Huang, X., Ma, M. H. (2015). Research advances on antioxidative proteins in egg. *China Poultry*, 21, 43–47.
36. Nisbet, A. D., Saundry, R. H., Moir, A. J. G., Fothergill, L. A., Fothergill, J. E. (1981). The complete amino acid sequence of hen ovalbumin. *European Journal of Biochemistry*, 115(2), 335–345. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1981.tb05243.x>
37. Nakamura, S., Kato, A., Kobayashi, K. (1992). Enhanced antioxidative effect of ovalbumin due to covalent binding of polysaccharides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(11), 2033–2037. <https://doi.org/10.1021/jf00023a001>
38. Liu, L., Meng, Y., Dai, X., Chen, K., Zhu, Y. (2019). 3D printing complex egg white protein objects: Properties and optimization. *Food and Bioprocess Technology*, 12(2), 267–279. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2209-z>
39. Liu, L., Yang, X., Bhandari, B., Meng, Y., Prakash, S. (2020). Optimization of the formulation and properties of 3D-printed complex egg white protein objects. *Foods*, 9(2), Article 9020164. <https://doi.org/10.3390/foods9020164>
40. Zhang, Z.-H., Peng, H., Woo, M.W., Zeng, X.-A., Brennan, M., Brennan, C. S. (2020). Preparation and characterization of whey protein isolate-chlorophyll microcapsules by spray drying: Effect of WPI ratios on the

- physicochemical and antioxidant properties. *Journal of Food Engineering*, 267, Article 109729. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109729>
41. Liu, Y., Liu, D., Wei, G., Ma, Y., Bhandari, B., Zhou, P. (2018). 3D printed milk protein food simulant: Improving the printing performance of milk protein concentration by incorporating whey protein isolate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.018>
 42. Liu, Y., Yu, Y., Liu, C., Regenstein, J. M., Liu, X., Zhou, P. (2019). Rheological and mechanical behavior of milk protein composite gel for extrusion-based 3D food printing. *LWT — Food Science and Technology*, 102, 338–346. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.053>
 43. Scerra, M.A., Barrett, S., Eswaranandam, S., Okamoto, M. (2018). Effects of 3D printing and thermal post processing on the stability of vitamin E acetate. *Journal of the American Academy of Nutrition and Dietetics*, 118(10), Poster Session: Food/Nutrition Science; Education; Management; Food Services/Culinary; Research, A148. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.08.101>
 44. Azam, R. S. M., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. (2018). Effect of different gums on features of 3D printed object based on vitamin-D enriched orange concentrate. *Food Biophysics*, 13(3), 250–262. <https://doi.org/10.1007/s11483-018-9531-x>
 45. Park, S. M., Kim, H. W. Park, H. J. (2020). Callus-based 3D printing for food exemplified with carrot tissues and its potential for innovative food production. *Journal of Food Engineering*, 271, Article 109781. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109781>
 46. Nikolaev N. S., Kornienko V. N., Plasheshnik P. I. (2021). Features of refrigeration of frozen desserts. *Dairy industry*, 2, 55–57. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-02-55-57> (In Russian)
 47. Miao, S., Castro, N., Nowicki, M., Xia, L., Cui, H., Zhou, X. et al. (2017). 4D printing of polymeric materials for tissue and organ regeneration. *Materials Today*, 20(10), 577–591. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.06.005>
 48. Wang, W., Yao, L., Zhang, T., Cheng, C.-Y., Levine, D., Ishii, H. (6–11 May, 2017). *Transformative appetite: Shape-changing food transforms from 2D to 3D by water interaction through cooking*. Conference on Human Factors in Computing Systems — Proceedings, 6123–6132. <https://doi.org/10.1145/3025453.3026019>
 49. Tao, Y., Do, Y., Yang, H., Lee, Y.-C., Wang, G., Mondoa, C. et al. (2019). Morphlour: Personalized flour-based morphing food induced by dehydration or hydration method. *UIST 2019 — Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 329–340. <https://doi.org/10.1145/3332165.3347949>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Корниенко Владимир Юрьевич — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория Молекулярной биологии и биоинформатики, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-95-11(109), E-mail: unipraim@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9068-9814 * автор для контактов Минаев Михаил Юрьевич — кандидат технических наук, заведующий лабораторией Молекулярной биологии и биоинформатики, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-95-11 (109), E-mail: m.minaev@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0038-9744	Vladimir Yu. Kornienko, candidate of biological sciences, Senior Researcher, Laboratory of molecular biology and bioinformatics, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina Str., Moscow, 109316, Russia. Tel.: +7-495-676-95-11(109), E-mail: unipraim@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9068-9814 * corresponding author Mihail Yu. Minaev, candidate of technical sciences, head of Laboratory of molecular biology and bioinformatics, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina Str., Moscow, 109316, Russia. Tel.: +7-495-676-95-11 (109), E-mail: m.minaev@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0038-9744
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/10.21323/2618-9771-2022-5-1-30-40>

Поступила 17.02.2022

Поступила после рецензирования 02.03.2022

Принята в печать 10.03.2022

© Кузьмина Е. И., Ганин М. Ю., Свиридов Д. А.,
Егорова О. С., Шилкин А. А., Акбулатова Д. Р., 2022



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

Обзорная статья

Open access

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОФЕ

Кузьмина Е. И., Ганин М. Ю.*, Свиридов Д. А., Егорова О. С.,
Шилкин А. А., Акбулатова Д. Р.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

географическое место
происхождения, изотопная
масс-спектрометрия,
хемометрия, кофеин,
элементный профиль,
ботанический вид,
контроль подлинности

АННОТАЦИЯ

В статье представлен анализ опубликованных работ, посвященных вопросу установления региональной принадлежности кофейных зерен, а также изучению основных компонентов, которые могут являться идентификационными параметрами при установлении подлинности кофе. Основываясь на анализе научной литературы, авторы отметили наиболее значимые работы, направленные на подтверждение подлинности места происхождения кофейных зерен из Эфиопии, Кении, Гавайских островов, Коста-Рики, Ямайки, Бразилии, Гватемалы, Мексики и других стран. Показано, что наибольшее распространение получили исследования, нацеленные на изучение значений изотопных отношений углерода ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), водорода ($^2\text{H}/^1\text{H}$), кислорода ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) и азота ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) в соединениях, содержащихся в кофейных зернах. Значения этих показателей отражают распределение «легких» и «тяжелых» изотопов в ходе биологических и геохимических процессов в границах отдельно взятого региона. Проведен анализ работ, направленных на изучение качественного и количественного состава микроэлементов и редкоземельных металлов (Na, Mg, Al, Mn, Ga, Rb, Ba, Pb, Y, La, Ce, Pr, Sm, Nd, Eu, Dy и др.), в том числе исследование значений изотопных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в образцах продукции и почвах исследуемого региона. На основе представленных материалов сделан вывод о том, что использование метода изотопной масс-спектрометрии в комплексе со статистической обработкой результатов позволяет с высокой степенью достоверности определить принадлежность продукта к определенному географическому региону, а также установить ботаническое происхождение зерен. Описаны преимущества комплексных исследований ряда показателей с использованием различных методов математической статистики и моделирования при установлении географического места происхождения кофе.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FNEN-2019-042 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 17.02.2022

Accepted in revised 02.03.2022

Accepted for publication 10.03.2022

© Kuzmina E. I., Ganin M. Yu., Sviridov D. A.,
Egorova O. S., Shilkin A. A., Akbulatova D. R., 2022

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

Review article

Open access

USING MODERN INSTRUMENTAL METHODS FOR COFFEE IDENTIFICATION

Elena I. Kuzmina, Mikhail Yu. Ganin*, Dmitriy A. Sviridov, Olesya S. Egorova,
Aleksey A. Shilkin, Dilyara R. Akbulatova

All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:

geographical place of origin,
isotope mass spectrometry,
chemometry, caffeine, elemental
profile, botanical species,
authenticity control

ABSTRACT

The article provides an analysis of published works devoted to authentication of the place of origin of coffee beans, as well as the research of the main components that can be identification parameters when authenticating coffee. Based on the analysis of scientific literature, the authors noted the most significant works aimed at confirming the authenticity of the place of origin for coffee beans from Ethiopia, Kenya, Hawaii, Costa Rica, Jamaica, Brazil, Guatemala, Mexico and other countries. It was shown that the most widespread studies were aimed at analyzing the values of isotopic ratios of carbon ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), hydrogen ($^2\text{H}/^1\text{H}$), oxygen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) and nitrogen ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) in compounds contained in coffee beans, which reflect the distribution of “light” and “heavy” isotopes during biological and geochemical processes within the boundaries of a particular region. The authors analyzed the works aimed at studying the qualitative and quantitative composition of trace elements and rare earth metals (Na, Mg, Al, Mn, Ga, Rb, Ba, Pb, Y, La, Ce, Pr, Sm, Nd, Eu, Dy, Gd and others), as well as the research of the values of isotopic ratios ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) in product samples and soils of the studied region. Based on the presented materials, it is concluded that the use of the isotope mass spectrometry method in combination with statistical processing of the results makes it possible to determine with a high degree of reliability the product belonging to a certain geographical region, as well as to authenticate the botanical origin of the beans.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кузьмина, Е. И., Ганин, М. Ю., Свиридов, Д. А.,
Егорова, О. С., Шилкин, А. А., Акбулатова, Д. Р. (2022). Использование сов-
ременных инструментальных методов для идентификации кофе. *Пищевые
системы*, 5(1), 30-40. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-30-40>

FOR CITATION: Kuzmina, E. I., Ganin, M. Yu., Sviridov, D. A., Egorova, O. S.,
Shilkin, A. A., Akbulatova, D. R. (2022). Using modern instrumental methods
for coffee identification. *Food systems*, 5(1), 30-40. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-30-40>

The advantages of comprehensive research of several indicators using various methods of mathematical statistics and modeling in determining the geographical place of coffee origin are shown.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-0585-2019-042 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Кофе как напиток появился в Эфиопии больше тысячи лет назад. До Европы он дошел только в XVII веке, а до Азии еще позднее — в XVIII–XIX веках. Однако именно сейчас в европейских и азиатских странах кофейная культура развивается быстрее, чем где-либо.

Кофе обладает уникальным ароматом, питательными свойствами, а также бодрящим эффектом. Идентификационные признаки этого напитка определяются анатомо-морфологическими свойствами (для целых кофейных зерен), характерными органолептическими показателями, специфичным физико-химическим составом.

Кофе — один из самых потребляемых безалкогольных напитков в мире. С точки зрения основных рыночных показателей, экспорт всевозможных форм кофе странами-экспортерами во все страны мира составил 10,1 миллионов 60-килограммовых мешков в августе 2021 г., что соответствует уровню августа 2020 г. Экспорт всех видов кофе за первые 11 месяцев кофейного 2020/2021 года (октябрь 2020 г. — август 2021 г.) составил 118,96 миллионов мешков, увеличившись на 1,9% по сравнению с 116,77 миллионами мешков за тот же период в кофейном 2019/2020 году. Совокупный экспорт с сентября 2020 г. по август 2021 г. оценивается в 129,55 миллионов 60-килограммовых мешков, что составляет рост на 2,1% по сравнению с 126,85 миллионами мешков, зарегистрированных с сентября 2019 года по август 2022 года. Мировое потребление кофе в 2020/2021 году оценивается в 167,26 миллионов мешков, что на 1,9% выше по сравнению с 2019/2020 гг. (164,13 миллиона мешков) [1]. В сентябре 2021 года среднемесячная цена на кофе достигла нового рекордного уровня. Цена композитного индикатора составила 170,02 цента США/фунт, увеличившись на 6,2% по сравнению с августом 2021 года — 160,14 цента США/фунт [1]. Благодаря широкому распространению и высокой цене, фальсификация кофе в мире достигла очень высокого уровня.

2. Методы идентификации кофе

В настоящее время для идентификации кофе широко используют метод определения массовых долей свободных и общих углеводов методом высокоэффективной анионо-

обменной хроматографии. Этот способ позволяет определять содержание отдельных моносахаридов (арабинозы, фруктозы, галактозы, глюкозы, маннозы, ксилозы), сахарозы и маннита, однако решающее значение для идентификации имеет содержание общей глюкозы и общей ксилозы, которых в растворимом кофе должно быть не более 2,6% и 0,6% соответственно [2–6].

При идентификации кофе широкое применение находит определение количественного и качественного состава алкалоидов, ароматических веществ, отдельных фенолкарбоновых и жирных кислот [7]. На протяжении многих лет одним из главных критериев идентификации природы кофейного сырья являлось определение содержания кофеина. Кофеин (1,3,7-триметилксантин) — растительный алкалоид пуринового ряда, оказывающий наиболее выраженное действие на центральную нервную систему [8]. Растения синтезируют кофеин как оружие против нападения насекомых (доза кофеина в листьях растений ядовита для них). А когда эти листья увядают и падают на землю, кофеин распространяется в почве и препятствует росту растений поблизости [9]. В дополнение к защитной функции ученые обнаружили, что растения выделяют немного кофеина в нектар, чтобы привлечь пчел [10].

По содержанию кофеина различные ботанические виды кофе имеют принципиальные отличия. Массовая доля кофеина (в пересчете на сухое вещество) в зернах кофе ботанического вида арабика колеблется от 0,8% до 1,4%, а в зернах кофе ботанического вида робуста — от 1,7% до 4,0% [11]. Отличить кофе различных ботанических видов можно также с помощью одновременного определения содержания кофеина, тригонеллина, хлорогеновой кислоты и родственных им соединений (никотиновая кислота, теофиллин, кофейная кислота) (Рисунок 1) [12].

Результаты исследований [13] показали, что два вида кофе, арабика и робуста, могут четко различаться по содержанию тригонеллина и кофеина. Однако ни тригонеллин, ни кофеин не могут указывать на географическое происхождение обжаренного кофе. Ку С.-L. et al. [14] установили, что в кофе арабика содержание тригонеллина и сахарозы выше, чем в робусте, тогда как робуста отличается более высоким содержанием хлорогеновой кислоты и кофеина.

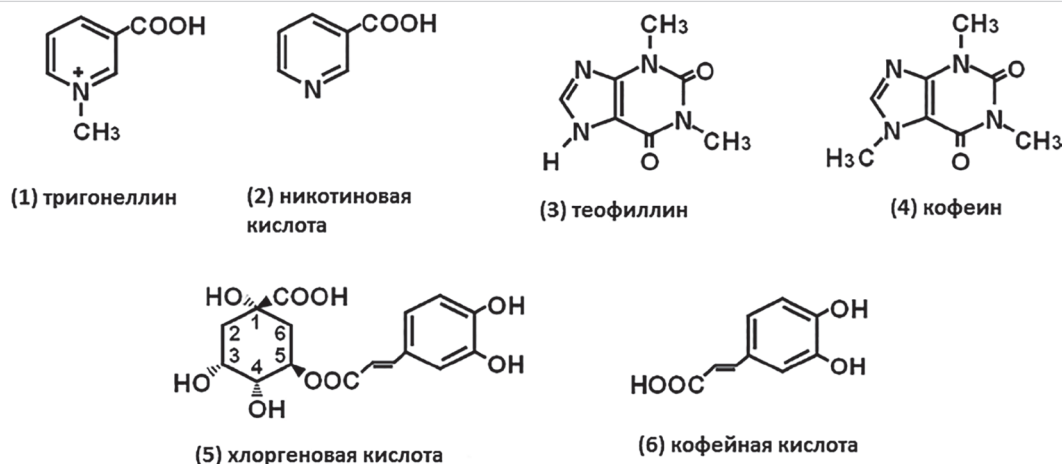


Рисунок 1. Структурные формулы тригонеллина, никотиновой кислоты, теофиллина, кофеина, хлорогеновой кислоты и кофейной кислоты

Figure 1. Structural formulas of trigonelline, nicotinic acid, theophylline, caffeine, chlorogenic acid and caffeic acid

Процесс обжарки является одним из важных факторов, отвечающих за качество кофе и придающих ему характерный вкус. Основные соединения кофейного зерна при обжарке подвергаются химическим изменениям [15]. Например, зеленые кофейные зерна содержат большое количество хлорогеновой кислоты в своем составе, в процессе обжарки ее концентрация резко снижается [16]. Потеря тригонеллина зависит от степени обжарки и связана с образованием никотиновой кислоты, при этом содержание кофеина снижается незначительно [17]. Высокая стабильность кофеина во время обжарки также была показана в работе [18] как для кофейных зерен арабики, так и для образцов робусты.

В работе [12] были представлены результаты исследований компонентов кофе, в том числе кофеина, хлорогеновой кислоты и тригонеллина, проведенных с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) согласно методам, описанным в [19–21].

В работе [12] тригонеллин, никотиновая кислота, теofilлин, кофеин, хлорогеновая кислота и кофейная кислота были проанализированы в десяти образцах растворимого кофе с использованием метода ВЭЖХ (Таблица 1). Аналиты в образцах растворимого кофе экстрагировали 15% метанолом (А-І) или горячей водой (А*).

Таблица 1. Содержание основных компонентов растворимого кофе [12]

Table 1. Content of the main components of instant coffee [12]

Шифр образца	Тригонеллин	Никотиновая кислота	Теofilлин	Кофеин	Хлорогеновая кислота	Кофейная кислота
А*	4,78	0,0474	не обн.	33,8	4,24	0,0567
А	4,68	0,294	не обн.	32,5	4,39	0,102
В	4,72	0,292	не обн.	35,0	4,52	0,0879
С	3,02	0,364	не обн.	34,7	2,65	0,107
Д	6,71	0,315	не обн.	34,6	10,6	0,168
Е	6,94	0,339	не обн.	34,1	8,14	0,0489
F	7,06	0,3	не обн.	31,7	9,45	0,0734
G	7,59	0,233	не обн.	32,8	9,1	0,0644
Н	7,73	0,391	не обн.	32,2	9,81	0,316
І	9,76	0,531	не обн.	28,8	11,6	0,161
Ј	6,67	0,327	не обн.	0,947	9,43	0,232

Содержание тригонеллина, кофеина и хлорогеновой кислоты в образце А*, экстрагированном горячей водой, незначительно отличалось от соответствующих показателей в образце А, экстрагированном 15%-ным метанолом с использованием ультразвука на частоте 43 кГц в течение 5 мин. Количества никотиновой кислоты и кофейной кислоты в образце А были выше, чем в образце А*. Исходя из полученных результатов исследований, в дальнейшей работе аналиты в пробах А–Ј экстрагировали 15%-ным метанолом. Уровень кофеина в образцах А–І колебался от 28,8 до 35,0 мг/г, а содержание кофеина в образце Ј (без кофеина) по понятным причинам составляло всего 0,947 мг/г. Результаты исследований показали, что образцы с более высоким содержанием кофеина, как правило, имеют более низкие концентрации тригонеллина и хлорогеновой кислоты. В то же время содержание тригонеллина в образцах А–І хорошо коррелирует с концентрацией хлорогеновой кислоты. Уравнение регрессии для взаимосвязи между количеством тригонеллина (х) и хлорогеновой кислоты (у) можно выразить как $y = 1,48x - 1,74$ с коэффициентом корреляции (R²) 0,887 [12].

Самым распространенным способом фальсификации кофе является замена кофейного сырья на другие растительные источники с последующим добавлением химически чистого кофеина (как правило, медицинского препарата). Учитывая этот факт, данный критерий идентификации стал ненадежным.

В последнее время для идентификации кофе используют изотопные характеристики химических элементов, входящих в состав кофеина. Для этого определяют отношение изотопов углерода, водорода и кислорода в выделенном из кофе кофеине [22]. В данной статье приведены результаты исследований по изучению изотопных характеристик углерода (¹³C/¹²C), водорода (²H/¹H), кислорода (¹⁸O/¹⁶O) в кофеине, выделенном из зеленых кофейных зерен сорта арабики различного географического происхождения. Всего было проанализировано 45 образцов кофе (20 из Центральной и Южной Америки, 16 из Африки, шесть из Индонезии и по три с Ямайки и Гавайских островов), а также три эталонных образца синтетического кофеина. Изотопные характеристики кофеина из зеленого кофе варьировались по значению показателя $\delta^{13}\text{C}$ от (–25,1) до (–29,9)‰, по значению показателя $\delta^2\text{H}$ от (–109) до (–198)‰ и по значению показателя $\delta^{18}\text{O}$ от 2,0 до (–12)‰. Оценка данных с помощью линейного дискриминационного анализа (LDA) и анализа дерева классификации и регрессии (CART) показала, что изотопные характеристики (¹⁸O/¹⁶O) являются значимыми. Использование LDA для значений показателя $\delta^2\text{H}$ и показателя $\delta^{18}\text{O}$ для кофе африканского и центрально-южноамериканского происхождения привело к частоте ошибок 5,7% и 7,7% для адаптации и перекрестной проверки соответственно [22].

Органолептические свойства кофе, так же как и его цена, определяются регионом произрастания кофейных зерен [11]. В последние годы из-за низких таможенных пошлин и большого рынка потребителей число поставщиков кофе в Россию существенно возросло. Часть из новых фирм поставляют кофе нелегально, представляя неполную или недостоверную информацию о стране-производителе [23]. Как следствие, становится актуальной задача определения (подтверждения) региона происхождения образцов кофе, ввозимых на территорию Российской Федерации.

В мировой практике идентификация пищевых продуктов по месту географического происхождения осуществляется, как правило, с помощью комплексного исследования элементного профиля, значений изотопных характеристик и хеометрических методов обработки результатов [24–38]. При изучении микроэлементного анализа проводят определение таких элементов, как кобальт, цезий, натрий, рубидий, калий, кальций, марганец, железо, никель, медь, цинк, бром, стронций [39].

Выявление критериев подлинности географической принадлежности пищевых продуктов, в том числе кофе, основано на получении большого массива данных различных показателей и их аналитической обработки при помощи различных статистических методов. Одной из наиболее распространенных задач в рамках аналитической обработки полученных результатов является выявление статистически значимых различий между значениями двух или более выборок. Для этого необходимо выбрать значение доверительно-го уровня значимости p-value, которое обычно принимается за 0,05. Соответственно, если выбранный аналитический метод определит, что p-value составляет менее 0,05 у. е., это будет означать, что выборки различаются статистически значимо, а измеренные значения с вероятностью 95% и выше относятся к разным числовым совокупностям [40].

Для сравнения двух выборок чаще всего используют тест Стьюдента. Однако для его применения необходимо, чтобы

значения имели нормальное распределение одинаковой формы, а также имели равную дисперсию. В связи с этим необходимо проводить проверку допущений с использованием таких тестов, как Шапиро-Уилка, Колмогорова-Смирнова и Левене. Если данные не проходят указанные тесты, исследователи могут использовать другой метод установления статистически значимых различий, с менее жесткими требованиями, например, тест Мана-Уитни. При сравнении нескольких выборок используются методы многомерной статистики, такие как дисперсионный анализ (ANOVA), линейный дискриминантный анализ (LDA), метод формального независимого моделирования аналогов классов (SIMCA), метод опорных векторов (SVM) и другие [40–42]. Среди методов многомерной статистики отдельно стоит выделить метод главных компонент (PCA), который также позволяет визуализировать полученные данные с большим количеством измеренных параметров путем уменьшения размерностей до двух [43].

В последние годы для решения прикладных задач исследователи чаще стали применять методы машинного обучения, направленные на создание моделей, способных решать задачи за счет обучения по имеющимся данным, а не по предварительно заданному алгоритму. Выделяют машинное обучение с учителем и без учителя [44–46]. В первом случае в тренировочном наборе данных, на котором учится модель, присутствуют правильные ответы, предварительно полученные другим способом. В случае обучения без учителя у модели нет доступа к верным ответам. После обучения модели способны решать задачу, для которой были подготовлены, как на основе исходных данных, так и при загрузке новых значений. Наиболее распространенным является метод машинного обучения с учителем Random Forest, способный предсказать класс наблюдений по значениям переменных после обучения. Random Forest представляет из себя совокупность моделей Decision Tree, каждая из которых обучается на случайном поднаборе данных и выводит индивидуальный набор правил для предсказания класса наблюдения. После обучения выбирается лучшая модель в соответствии с ее точностью — параметра, показывающего долю верных ответов модели [47,48].

Таким образом, использование методов статистического анализа является важным этапом при проведении научной работы. Используемые методы подбираются индивидуально для каждого исследования, в зависимости от свойств полученных данных и поставленной задачи.

В России исследования по идентификации кофе с использованием метода изотопной масс-спектрометрии практически не проводились. В открытом доступе была найдена только одна статья [11]. В работе российских ученых представлены результаты исследований изотопного состава углерода хлорогеновой кислоты и кофеина, выделенных из образцов кофейных зерен различных мест произрастания методом газовой хроматографии в сочетании с изотопной масс-спектрометрией. Всего было проанализировано 30 образцов жареного кофе, которые принадлежали к трем различным географическим регионам: Африка — Южная Америка — Центральная Америка. Образцы представляли собой плантационный вид кофе, 100% арабика. Учеными было установлено, что в зависимости от региона произрастания кофейных зерен изменяются относительные характеристики изотопного состава углерода как для кофеина, так и для хлорогеновой кислоты. Исследователи отмечают, что совместное использование значений показателя $\delta^{13}\text{C}$ для кофеина и хлорогеновой кислоты позволяет получить статистически значимые области, описывающие регион произрастания кофейных зерен.

Дополнительно ученые провели исследование возможного фракционирования изотопов углерода в ходе обжарки и пробоподготовки кофейных зерен. Образцы разделяли на три части: первая часть не подвергалась обжарке, вторая часть выдерживалась 5 минут при температуре 230 °C, третья выдерживалась 10 минут при 230 °C (Таблица 2). В результате авторами показано, что при обжарке кофейных зерен содержание кофеина в образцах остается постоянным, а количество хлорогеновой кислоты уменьшается примерно в два раза. При этом значения показателей как общего изотопного состава зеленого кофе и зеленого кофе разной степени обжарки, так и изотопный состав углерода выделенных соединений, остаются неизменными.

Таблица 2. Результаты измерения содержания и изотопного состава углерода кофеина и хлорогеновой кислоты, выделенных из кофейных зерен разной степени обжарки [11]

Table 2. Results of the analysis of the content and carbon isotopic composition of caffeine and chlorogenic acid extracted from coffee beans with a different degree of roasting [11]

Образец	Общий изотопный состав углерода кофейного зерна, $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}\text{‰}$	Кофеин		Хлорогеновая кислота	
		Содержание, мг г ⁻¹	Изотопный состав углерода, $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}\text{‰}$	Содержание, мг г ⁻¹	Изотопный состав углерода, $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}\text{‰}$
не обжаренный	-26,43 ± 0,23	0,55	-26,82 ± 0,15	0,51	-26,44 ± 0,22
средней степени обжарки	-26,49 ± 0,21	0,6	-26,99 ± 0,2	0,21	-26,39 ± 0,18
высокой степени обжарки	-26,48 ± 0,24	0,57	-26,93 ± 0,18	0,22	-26,49 ± 0,23

Авторами [11] также было проведено исследование по выявлению влияния полноты экстракции на изотопный состав выделенных компонентов кофейных зерен. Экстракцию проводили метанолом (Таблица 3). При времени экстракции 15, 20 и 30 мин содержание исследуемых компонентов изменяется незначительно, а при 60 мин увеличивается примерно в 2 раза. Изотопный состав углерода кофеина и хлорогеновой кислоты с увеличением времени экстракции не меняется.

Таблица 3. Результаты измерения содержания и изотопного состава углерода выделенных компонентов кофейных зерен при различном времени экстрагирования [11]

Table 3. Results of the analysis of the content and carbon isotopic composition of extracted compounds of coffee beans at different time of extraction [11]

Время экстракции, мин	Кофеин		Хлорогеновая кислота	
	Содержание, мг г ⁻¹	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}\text{‰}$	Содержание, мг г ⁻¹	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}\text{‰}$
15	0,63	-26,94 ± 0,16	0,19	-26,4 ± 0,11
20	0,65	-27,06 ± 0,12	0,21	-26,41 ± 0,14
30	0,71	-26,88 ± 0,12	0,26	-26,34 ± 0,1
60	1,2	-26,99 ± 0,18	0,48	-26,53 ± 0,15

В аналогичных работах, проведенных зарубежными учеными [22,41], было установлено, что обжарка зеленого кофе не оказывает существенного влияния на общий изотопный состав углерода. В то же время в работе итальянских ученых [49] показано, что обжарка зеленых зерен кофе в ряде случаев оказывает более существенное влияние на изотопные характеристики углерода в кофеине (Таблица 4).

Таблица 4. Средние значения показателя $\delta^{13}\text{C}$ (‰) кофеина, определенные для всех проанализированных образцов (по 20 каждого типа) [49]Table 4. Mean $\delta^{13}\text{C}$ values (‰) of caffeine determined for all analyzed samples (20 samples for each type) [49]

Наименование пробы	Страна происхождения	Широта	Высота (м)	Разновидность	Тип	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) кофеина
Вьетнам	Вьетнам	16° 00' N	900–1000	C. robusta	Зеленый Жаренный	–28,90 –29,08
Сантос	Бразилия	23° 32' S	700–1000	C. arabica	Зеленый Жаренный	–28,93 –29,17
Камерун	Камерун	06° 00' N	800–1000	C. robusta	Зеленый Жаренный	–29,64 –29,86
Индийская вишня	Индия	22° 00' N	300–900	C. robusta	Зеленый Жаренный	–31,36 –31,46
Сан-Сальвадор	Сальвадор	14° 00' N	450–650	C. arabica	Зеленый Жаренный	–32,20 –32,35
Эфиопия	Эфиопия	08° 00' N	1300–2100	C. arabica	Зеленый Жаренный	–29,30 –29,36
Индийская Монсаната	Индия	22° 00' N	300–900	C. robusta	Зеленый Жаренный	–31,29 –32,44
Индийская робуста Монсаната	Индия	22° 00' N	300–900	C. robusta	Зеленый Жаренный	–31,46 –31,66

В зарубежных публикациях использование метода изотопной масс-спектрометрии для установления географического происхождения кофейных зерен представлено шире. Исследователями из Италии, Канады, Венгрии и Бельгии была проведена совместная работа, направленная на разработку способа кластеризации образцов зеленого кофе в зависимости от географического места их произрастания (Африка, Азия и Америка). В исследуемых образцах были определены значения отношений стабильных изотопов углерода, азота и бора. Статистическая обработка полученного массива данных позволила верно классифицировать 95% образцов из Америки, 87% из Африки и 60% из Азии. При этом выявить значимые различия между образцами в рамках исследуемых частей света не представлялось возможным ввиду недостаточной выборки и схожих климатических условий произрастания кофейного дерева [50].

В работе [51] представлены результаты исследований ученых из Португалии. Были изучены 68 образцов зеленых зерен кофе из 20 различных регионов мира (Центральная Америка, Тихоокеанский регион, Южная Америка, Африка, Азия и Океания). Комплексный анализ соотношений изотопов водорода ($^2\text{H}/^1\text{H}$), углерода ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), кислорода ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), азота ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$), серы ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) и определение массовой концентрации углерода и азота позволили с большой долей вероятности различить образцы кофейных зерен (Таблица 5). В рамках проведенной работы исследователи выявили основные критерии, влияющие на изотопные характеристики биогенных элементов в кофейных зернах — высота над уровнем моря в регионе произрастания, его географическое положение и количество выпавших осадков. По мнению ученых, для более точного определения географического происхождения необходимо исследование большего количества образцов, проведение анализов в разные сельскохозяйственные годы, а также анализ на соотношения изотопов основных соединений, выделенных из зерен кофе (например, кофеин) [51].

Испанские ученые изучали соотношения изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) и кислорода ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) в зеленых зернах кофе [52]. Анализ образцов кофе проводили на масс-спектрометре с многоколлекторной индуктивно связанной плазмой (MC–ICP–MS) и на изотопном масс-спектрометре (IRMS). Результаты исследований 60 образцов зеленого кофе, полученных из 20 географических мест, представлены в Таблице 6. Дополнительно учитывались такие параметры как источники диоксида углерода, расстояние

и высота над уровнем моря, время года, фактор (способ) поступления осадков (естественный образ или орошение), а также обмен веществ кофейных растений (первичный или вторичный). Результаты показали, что комбинация показателей соотношений изотопов кислорода и стронция — хороший подход для того, чтобы различать кофе по их географическому происхождению. Также ученые сделали вывод о том, что изотопный состав кислорода и стронция зеленого кофейного зерна связан с изотопным составом кислорода осадков и изотопным составом биодоступного стронция в почве [52].

Значения в этой таблице являются средними значениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ исходной породы/пород, найденных в тех же или очень приближенных географических координатах, откуда были получены образцы зеленого кофе (диапазон значений также указывается, когда на одно местоположение приходилось более одного образца исходной породы).

Целью совместных исследований ученых из Португалии, Австрии и США [54] стало исследование образцов зеленых зерен кофе Гавайского региона по изучению изотопных характеристик углерода ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), азота ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$), кислорода ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), серы ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) и стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), а также массовой концентрации 30 различных элементов. В работе были изучены зерна зеленого кофе арабика (47 образцов), которые были собраны из пяти различных регионов-производителей кофе на Гавайях. Регионами, включенными в это исследование, были Гавайи, Кауаи, Мауи, Молокаи и Оаху. Гавайи были единственным регионом, где возможно было собрать пробы двух разных годов урожая — 2007 и 2008 гг. Результаты мульти-элементного анализа показали значимые различия среди концентраций таких элементов, как Na, Mg, Al, Mn, Ga, Rb, Ba, Pb, Y, La, Ce, Pr, Sm, Nd, Eu, Dy и Gd для разных регионов-производителей кофе. Кофе из региона Молокаи показал наиболее значимые отличия от остальных по концентрации Al, Fe, Cu, Rb, Sr и Ce. В районе Кауи концентрации Ba, Na и Ga в исследуемых образцах кофе имели значительные различия по сравнению с образцами из других регионов. Кофе на Оаху относительно других мест произрастания имел отличия только по концентрации Ni, а кофе с Гавайских островов отличался по показателям концентрации Nd, La, Y, Co и Mn. Несмотря на некоторые различия, ученые отмечают невысокую достоверность определения региона произрастания кофе только по концентрации данных элементов и рекомендуют объединять микроэлементный анализ с методом изотопной масс-

Таблица 5. Значения показателей $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в зеленых зернах кофе [51]Table 5. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values in green coffee beans [51]

Зерна зеленого кофе														
Изысканный кофе					Сертифицированный кофе					Другое				
Страна	№	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{18}\text{O}$	Страна	№	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{18}\text{O}$	Страна	№	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{18}\text{O}$
Папуа и Новая Гвинея	1	-28,2	2,5	18,7	Малави	33	-28,2	0,3	29,9	Перу	55	-28,0	1,4	21,6
	2	-27,6	2,2	20,0		34	-26,8	2,7	26,8		56	-29,0	1,6	21,1
Эфиопия	3	-26,2	3,5	34,8	Ангола	35	-26,3	6,2	36,9	Эквадор	57	-28,6	2,6	24,2
	4	-24,9	4,3	33,5		36	-29,2	2,6	30,8		58	-28,5	3,6	25,0
	5	-26,2	4,1	30,8		37	-28,3	1,8	25,9	Мексико	59	-29,2	0,5	25,2
	6	-26,9	2,1	30,3		38	-29,9	3,3	28,5		60	-28,4	0,0	24,7
О. Танзания	7	-27,3	2,7	27,2	Гватемала	39	-26,4	2,2	24,3	Эль-Сальвадор	61	-29,2	2,0	25,7
	8	-26,6	1,7	31,2		40	-28,3	2,2	23,8		62	-26,8	1,3	24,0
	9	-28,9	2,8	25,6		41	-26,3	2,1	30,1	Никарагуа	63	-28,7	1,7	22,7
	10	-26,5	2,0	28,2	Бразилия	42	-26,6	2,8	28,2	Замбия	64	-26,6	0,7	33,4
	11	-25,7	2,7	34,3		43	-26,2	2,2	27,0		65	-27,7	-0,4	32,5
Кения	12	-24,9	3,8	31,7		44	-26,2	1,6	26,7	Руанда	66	-26,0	2,7	30,9
	13	-25,7	3,0	29,6		45	-26,9	0,9	27,9		67	-24,6	3,6	31,5
	14	25,7	4,4	33,8		46	-25,5	1,7	27,6	Индонезия	68	-25,3	2,1	24,9
	15	-25,9	4,4	30,9		47	-26,3	1,7	28,0					
	16	-27,7	3,7	31,7		48	-26,5	2,8	26,5					
	17	-24,9	4,6	33,6		49	-26,5	3,8	26,7					
	18	-26,1	4,3	34,1	Восточный Тимор	50	-29,2	0,2	21,3					
	19	-25,0	2,0	29,4		51	-29,4	1,3	23,7					
	20	-25,5	3,6	34,1		52	-27,9	0,4	25,4					
	21	-28,1	1,3	28,1		53	-29,0	0,3	25,8					
	22	-25,2	2,0	31,6		54	-29,4	2,6	26,2					
Гавайи	23	-26,2	1,7	29,6										
	24	-25,8	2,7	31,8										
	25	-26,7	2,0	26,6										
	26	-25,0	1,5	29,2										
Коста-Рика	27	-26,5	1,4	29,7										
	28	-27,2	1,4	19,2										
	29	-28,3	2,5	21,2										
Ямайка	30	-27,8	2,1	21,1										
	31	-27,5	4,4	26,6										
	32	-29,0	3,2	26,8										

спектрометрии [54]. В дополнение к полученным данным учитывалась информация по каждому региону произрастания кофе, а именно — высота над уровнем моря, вулканическая активность, среднесуточные колебания температуры и среднегодовые значения показателя $\delta^{18}\text{O}$ в осадках. В целом, на основании полученных данных, исследователи показывают взаимодействие между кофейным растением и окружающей средой [54].

В статье китайских ученых [43] приведены результаты измерений соотношений изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) и бора ($^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$) зеленых кофейных зерен, а также их элементный состав: B, Mn, Zn, Rb, Sr, Ba, Fe. В результате проведенных исследований было показано, что характеристики только микроэлементного состава кофейных зерен не дают объективной картины по установлению региона. В то же время показатели соотношений изотопов ($^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$), ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) и ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) дают более точные определения региона происхождения кофейных зерен. Лучшие результаты получились в случае объединения показателей изотопных отношений бора, стронция и кислорода, а также элементного состава.

В работе немецких ученых из Бремена [55] представлены результаты исследования отношений изотопов во-

дорода и кислорода 20 образцов зеленых зерен кофе из 15 регионов, включая Азию, Африку, Центральную и Южную Америку. В работе показано, что отношения изотопов водорода и кислорода обжаренных кофейных зерен можно четко дифференцировать в масштабе континента. Кроме того, данные по изотопным характеристикам кислорода и водорода, измеренные в этом исследовании, очень хорошо согласуются с ранее опубликованными значениями данных показателей для кофейных зерен мирового производства на уровне стран [51,56,57], демонстрируя, что место происхождения кофе можно определить с помощью изотопных «отпечатков пальцев». В то же время в работе показаны различия по показателям соотношения изотопов водорода и кислорода для разных кофейных зерен внутри одной страны, в частности из Колумбии и Гватемалы (Таблица 7). Исследователи связывают это с различным расположением регионов произрастания над уровнем моря. Более «легкий» по изотопным характеристикам кофе культивируют в регионах, расположенных высоко над уровнем моря, и, наоборот, кофе из мест, находящихся ближе к морю, отличается повышенным содержанием «тяжелых» изотопов кислорода и водорода.

Таблица 6. Значения показателей $\delta^{18}\text{O}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ из 60 сортов зеленого кофе, включенных в это исследование, а также концентрация стронция и соотношение изотопов материнской породы, указанные в географических координатах (при наличии) [52]

Table 6. $\delta^{18}\text{O}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values from 60 green coffee samples included into this study, as well the strontium concentration and isotope ratio of parent rock indicated in geographical coordinates (whenever available) [52]

Регион	Страна	Локация	№	$\delta^{18}\text{O}$ зерно (‰)	(среднее) $\delta^{18}\text{O}$ осадков (‰)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ зерно (среднее) ^b	Sr зерно (среднее) ^b Sr зерно ($\mu\text{g g}^{-1}$) ^c	(среднее) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в породе (диапазон)	(среднее) Sr в породе (ppm) ^d
Восточная Африка	Руанда	Гатара	1	30,9	-4,0	0,7144	7,6	0,7067 (0,7054–0,7080)	941
	Эфиопия	Йирга Шефе	2	31,5	-4,0	0,7140	7,7	–	–
			3	34,8	-1,8	0,7077	3,1	0,7035 (0,7034–0,7035)	625
			4	30,8	-1,8	0,7074	3,1	–	–
			5	30,3	-1,8	0,7073	4,2	–	–
		Лунджи	6	27,2	-4,6	0,7072	9,2	0,7063	1,034
	Танзания	Гора Килиманджаро	7	31,2	-2,7	0,7047	21,8	0,7035	470
			8	29,5	-2,7	0,7047	25,0	–	–
			9	25,6	-2,7	0,7058	2,6	–	–
			10	28,2	-2,7	0,7047	26,5	–	–
			11	31,7	-10,2	0,7061	7,6	0,7068 (0,7061–0,7073)	793
	Кения	Гора Кения	12	31,6	-10,2	0,7074	6,4	–	–
			13	29,6	-10,2	0,7074	6,0	–	–
			14	33,8	-10,2	0,7062	7,8	–	–
			15	30,9	-10,2	0,7065	6,1	–	–
			16	31,7	-10,2	0,7067	6,3	–	–
			17	33,6	-10,2	0,7072	8,1	–	–
			18	34,1	-10,2	0,7066	5,2	–	–
			19	34,1	-10,2	0,7075	8,1	–	–
			20	28,1	-10,2	0,7063	7,1	–	–
		Киримири	21	29,6	-3,9	0,7073	7,6	0,7068 (0,7061–0,7073)	793
	Малави	Лудвинг-Мзузу	22	31,8	-3,9	0,7072	6,7	–	–
			23	29,9	-5,4	0,7131	5,4	–	–
	Замбия	Поместье Мубую	24	26,8	-5,4	0,7148	6,2	–	–
			25	33,4	-5,3	0,7121	6,0	–	–
	Зимбабве	Перузу	26	30,3	–	0,7169	3,4	–	–
Океания	Гавайи (Гавайские острова)	Поместье Гринвелл	27	26,6	-3,1	0,7059	3,1	0,7041 (0,7038–0,7047)	25
			28	29,2	-3,1	0,7067	4,8	–	–
			29	29,7	-3,1	0,7063	2,8	–	–
Центральная Америка	Мексика	Санта Рита	30	25,2	-6,4	0,7076	7,7	–	–
		Тукстла (Чиapas)	31	24,7	-5,8	0,7064	4,0	–	–
	Коста Рика	Сан Маркос	32	19,2	-7,6	0,7064	6,8	0,7039 (0,7035–0,7049)	362
		Де Таруззо	33	21,1	-7,6	0,7051	9,7	–	–
	Гватемала	Узуэтенанго	34	24,3	-8,4	0,7067	4,4	–	–
		Ацетенанго	35	23,8	-8,1	0,7045	3,8	0,7055 (0,7039–0,7066)	169
	Сальвадор	Сан Антонио	36	25,7	-7,3	0,7041	5,4	0,7032	482
		Сан Мигель	37	24,0	-7,3	0,7041	5,8	–	–
	Никарагуа	Санта Рита	38	22,7	-5,2	0,7047	4,7	0,7037	–
		Фазенда те Терра	39	30,1	-5,1	0,7068	4,2	0,7057	452
Южная Америка	Бразилия	Фазенда С Бенедито	40	28,2	-5,8	0,7155	9,0	0,7060 (0,7059–0,7061)	357
		Фазенда Музамбо	41	27,0	–	0,7139	6,6	–	–
		Могилана	42	26,7	-5,2	0,7077	4,2	0,7055 (0,7055–0,7056)	377
		Зона да Мата	43	27,9	-5,3	0,7126	2,9	–	–
		–	44	27,6	–	0,7077	4,4	–	–
	Перу	Фазенда Носса	45	25,6	-5,4	0,7154	5,6	0,7125 (0,7035–0,7088)	523
		Янеша	46	21,6	-13,5	0,7127	3,7	–	–
	Эквадор	Остров Сан Кристобал	47	21,1	-13,5	0,7112	3,6	–	–
Карибский	Ямайка	Сьерра Дель Центро	48	24,2	-6,4	0,7049	2,5	0,7030 (0,7024–0,7038)	334
			49	25,0	-6,4	0,7052	2,2	–	–
			50	26,6	-5,2	0,7057	–	0,7055 (0,7035–0,7088)	523
Северо-восточная Азия	Индонезия	Манделинг	51	26,8	-5,2	0,7053	6,7	–	–
			52	24,9	-7,0	0,7062	8,9	0,7047 (0,7045–0,7047)	375
	Восточный Тимор	Эрмера	53	26,7	-7,5	0,7270	5,2	0,7109	268
			54	26,2	-7,5	0,7159	3,2	–	–
			55	21,3	-7,5	0,7227	3,7	–	–
			56	23,7	-7,5	0,7285	4,9	–	–
			57	25,4	-7,5	0,7296	5,1	–	–
			58	25,8	-7,5	0,7259	4,0	–	–
Малайзия	Папа и новая Гвинея	Западное Нагорье	59	18,7	-11,1	0,7042	5,9	0,7044 (0,7036–0,7054)	759
			60	20,0	-11,1	0,7044	5,0	–	–

a — источник IOPC [53], b — относительное стандартное отклонение результатов от независимых подготовленных образцов. Значения RSD варьировались от 0 до 0,0006, за исключением образцов 32 и 54 с RSD 0,0012 и 0,0147 соответственно, c — в растворенном растворе, d — источник EarthChem (расширенное управление данными в области геохимии твердой Земли).

Таблица 7. «Изотопные отпечатки» водорода и кислорода в обжаренных кофейных зернах из Азии, Африки, Южной и Центральной Америки проанализированы в трех экземплярах [55]

Table 7. Isotopic fingerprints of hydrogen and oxygen in roasted coffee beans from Asia, Africa, South and Central America analyzed in triplicate [55]

Регион	Страна	$\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW-SLAP}}$ (‰) ± 1 SD	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW-SLAP}}$ (‰) ± 1 SD
Азия	Индонезия	$-58,51 \pm 0,78$	$29,74 \pm 0,26$
	Индия	$-49,41 \pm 0,12$	$26,97 \pm 0,53$
	Филиппины	$-54,79 \pm 0,77$	$26,31 \pm 0,11$
	Био Сумантра	$-76,15 \pm 1,42$	$26,15 \pm 0,18$
Африка	Эфиопия Сидамо	$-37,2 \pm 0,61$	$32,7 \pm 0,11$
	Эфиопия	$-28,49 \pm 0,06$	$32,03 \pm 0,17$
	Руанда	$-20,91 \pm 1,00$	$36,37 \pm 0,14$
	Био Перу	$-66,28 \pm 1,91$	$25,16 \pm 0,25$
Южная и Центральная Америка	Био Боливия	$-90,36 \pm 1,83$	$20,6 \pm 0,12$
	Бразилия	$-60,25 \pm 1,13$	$27,54 \pm 0,47$
	Бразилия	$-63,7 \pm 0,44$	$27,97 \pm 0,06$
	Коста Рика	$-80,69 \pm 2,26$	$23,42 \pm 0,25$
	Колумбия	$-87,09 \pm 0,97$	$24,94 \pm 0,39$
	Колумбия	$-66,72 \pm 0,76$	$26,83 \pm 0,22$
	Колумбия	$-61,1 \pm 1,05$	$27,67 \pm 0,4$
	Гватемала	$-65,39 \pm 0,9$	$26,0 \pm 0,34$
	Гватемала	$-71,74 \pm 1,12$	$24,53 \pm 0,48$
	Гватемала	$-59,21 \pm 0,31$	$26,78 \pm 0,1$
	Панама	$-89,67 \pm 1,46$	$23,93 \pm 0,45$
	Перу Тукки	$-83,11 \pm 2,32$	$22,89 \pm 0,48$

Была проведена совместная работа китайских и бразильских ученых [42] по изучению соотношений изотопов ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{15}\text{N}$) и хеометрических методов обработки результатов образцов зеленого бразильского кофе. Помимо географического происхождения авторы изучали вопрос культивирования кофе, то есть природу выращенного кофе — органический (organic), без использования химических и азотных удобрений, и выращенный традиционными методами (convection). Всего было изучено 67 образцов зеленого кофе, произведенных в различных географических

регионах с использованием органических (ORG, $n = 25$) и традиционных (CONV, $n = 42$) методов выращивания. Результаты исследований показали, что органический кофе имеет более высокие значения показателя $\delta^{15}\text{N}$ по сравнению с традиционным кофе, при этом значения показателей $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ существенных различий не имели. С использованием хеометрических методов (LDA, SVM и k-NN) авторам удалось дифференцировать традиционный кофе с высокой точностью ($> 85\%$). При этом классифицировать органический кофе удалось уже с меньшей точностью ($< 60\%$) [42].

3. Заключение

Проведя анализ научных статей по идентификации кофе и установлению его географического происхождения, можно сделать вывод о том, что масс-спектрометрия стабильных изотопов является мощным инструментом для определения географии произрастания кофейных зерен, а также типа культивирования кофейного дерева. При этом соотношения стабильных изотопов $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ больше говорят о географии региона произрастания, а изотопы азота $\delta^{15}\text{N}$ — о ботаническом происхождении зерен. Также ученые рекомендуют учитывать дополнительные факторы, такие как высота над уровнем моря, вулканическая активность, среднесуточные колебания температуры, среднегодовые значения $\delta^{18}\text{O}$ в осадках и др. Использование дополнительных факторов широко применяется для установления географического происхождения не только кофе, но и других пищевых продуктов. Результаты многочисленных исследований подтверждают целесообразность изучения элементного профиля с целью установления места географического происхождения пищевой продукции, в том числе кофе. Изотопный состав продуктов питания в значительной степени определяется климатическими и географическими условиями, а элементный профиль отражает специфику региона произрастания. Использование описанных методов в комплексе со статистической обработкой результатов позволяет с высокой степенью достоверности установить принадлежность продукта к определенному географическому региону.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Monthly Coffee Market Report (2020/21). International coffee organization. Retrieved from <https://ico.org/documents/cy2020-21/cmr-0921-e.pdf> Accessed December 11, 2021
- Тищенко, Е. А., Цюпко, Т. Г., Милевская, В. В., Темердашев, А. З. (2017). Идентификация и хроматографическое определение биоактивных компонентов в образцах растворимого кофе. *Аналитика и контроль*, 21(3), 251–261. <https://doi.org/10.15826/analitika.2017.21.3.008>
- Гунар, Л. Э., Коваленко, А. С., Захаров, А. С. (2017). Методы идентификации, оценки качества и безопасности натурального молотого кофе: монография. — М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2017. — 111 с.
- Метленкин, Д. А., Платов, Ю. Т., Платова, Р. А., Рубцов, А. Е., Михайлова, А. М. (2021). Идентификация кофе в зернах методами Фурье-ИК-спектроскопии и многомерного анализа. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 5–6(383–384), 92–97. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.5-6.17>
- Sharma, H. A. (2020). A detail chemistry of coffee and its analysis. Chapter in book: Coffee-production and research. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91725>
- Gopinandhan, T. N., Banakar, M., Ashwini, M. S., Basavaraj, K. (2014). A comparative study on caffeine estimation in coffee samples by different methods. *International Journal of Current Research in Chemistry and Pharmaceutical Sciences*, 1(8), 4–8. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11561.44644>
- Яшин, А. Я. (2014). ВЭЖХ фенольных кислот — антиоксидантов с аперометрическим детектированием. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 14 (3), 419–427.
- Зайнулин, Р. А., Кунакова, Р. В., Егорова, Е. Ю. (2015). Кофе, кофеин и генетика человека. *Ливо и напитки*, 6, 50–54.
- Зачем растениям кофеин? Электронный ресурс <https://leplants.ru/events/zachem-rasteniyam-koфеin/> Дата обращения 25.11.2021
- Кофеин — приманка для пчел, улучшающая их память. Электронный ресурс: <https://www.agroxxi.ru/zhurnal-agromir-xxi/stati-rasteniyevodstvo/koфеin-primanka-dlja-pchel-uluchshayuschaja-ih-pamjat.html> Дата обращения 25.11.2021
- Антохин, А. М., Таранченко, В. Ф., Василевский, С. В., Аксенов, А. В., Аксенова, Ю. Б., Кузнецова, О. В. и др. (2016). Определение географического региона произрастания кофейных зерен методом газовой хроматографии в сочетании с изотопной масс-спектрометрией. *Масс-спектрометрия*, 13(3), 176–182.
- Arai, K., Terashima, H., Aizawa, S.-I., Taga, A., Yamamoto, A., Tsutsumiuchi K. et al. (2015). Simultaneous determination of trigonelline, caffeine, chlorogenic acid and their related compounds in instant coffee samples by HPLC using an acidic mobile phase containing octanesulfonate. *Analytical Science*, 31(8), 831–835. <https://doi.org/10.2116/analsci.31.831>
- Casal, S., Oliveira, M. B. P. P., Alves, M. R., Ferreira, M. A. (2000). Discriminate Analysis of Roasted Coffee Varieties for Trigonelline, Nicotinic Acid, and Caffeine Content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3420–3424. <https://doi.org/10.1021/jf990702b>
- Ky, C.-L., Louarn, J., Dussert, S., Guyot, B., Hamon, S., Noirot, M. (2001). Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea Arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. *Food Chemistry*, 75(2), 223–230. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00204-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00204-7)
- Tfouni, S. A. V., Carreiro, L. B., Teles, C. R. A., Furlani, R. P. Z., Cipolli, K. M. V. A. B., Camargo M. C. R. (2014). Caffeine and chlorogenic acids intake from coffee brew: Influence of roasting degree and brewing procedure. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 747–752. <https://doi.org/10.1111/IJFS.12361>
- Farah, A., De Paulis, T., Trugo, L. C., Martin, P. R. (2005). Effect of roasting on the formation of chlorogenic acid lactones in coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1505–1513. <https://doi.org/10.1021/jf048701t>
- Casal, S., Beatriz Oliveira, M., Ferreira, M. A. (2000). HPLC/diode-array applied to the thermal degradation of trigonelline, nicotinic acid and caffeine in coffee. *Food Chemistry*, 68(4), 481–485. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00228-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00228-9)

18. Bicho, N., Leitão, A., Ramalho, J., Lidon, F. C. (2011). Identification of chemical clusters discriminators of the roast degree in Arabica and Robusta coffee beans. *European Food Research and Technology*, 233(2), 303–311. <https://doi.org/10.1007/S00217-011-1518-5>
19. Nuhu, A. A. (2014). Bioactive Micronutrients in Coffee: Recent Analytical Approaches for Characterization and Quantification. *International Scholarly Research Notices*, 2014, Article 384230. <https://doi.org/10.1155/2014/384230>
20. Belay, A. (2011). Some biochemical compounds in coffee beans and methods developed for their analysis. *International Journal of Physical Sciences*, 6(28), 6373–6378. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.486>
21. Patil, P. N. (2012). Caffeine in various samples and their analysis with HPLC—a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 16(2), 76–83.
22. Weckerle, B., Richling, E., Heinrich, S., Schreier, P. (2002). Origin assessment of green coffee “Coffea Arabica” by multi-element stable isotope analysis of caffeine. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 374(5), 886–890. <https://doi.org/10.1007/s00216-002-1560-z>
23. Наумова, В. В. (2012). Информационная фальсификация кофе. *Бюллетень медицинских интернет-конференций*, 2(2), 66.
24. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Кузьмина, Е. И., Свиридов, Д. А. (2019). Использование современных инструментальных методов анализа с целью установления географического места происхождения винодельческой продукции. *Пиво и напитки*, 4, 59–64. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2019-10002>
25. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Кузьмина, Е. И., Яланецкий, А. Я., Загоруйко, В. А. (2017). Вариация отношений изотопов углерода этанола вин в зависимости от географического положения виноградников. *Магарач. Виноградарство и виноделие*, 4, 38–40.
26. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Кузьмина, Е. И., Зякун, А. М. (2013). Определение экзогенной воды в винах методом изотопной масс-спектрометрии. *Виноделие и виноградарство*, 5, 19–21.
27. Свиридов, Д. А., Ганин, М. Ю., Шилкин, А. А. (2022). Использование метода изотопной масс-спектрометрии для установления места географического происхождения кофейных зерен. Актуальные проблемы техники, технологии и образования: сборник тезисов докладов III Национальной научно-практической конференции с международным участием (Керчь, 24–27 января), 85–88.
28. Свиридов, Д. А., Ганин, М. Ю., Шилкин, А. А. (2021). Использование отношений стабильных изотопов для идентификации географического происхождения чая. Актуальные проблемы техники, технологии и образования: сборник тезисов докладов II Национальной научно-практической конференции с международным участием (Керчь, 25–28 января), 17–20.
29. Горбунова, Н. А. (2018). Возможности использования стабильных изотопов для идентификации географического происхождения мяса и мясных продуктов. Обзор. *Теория и практика переработки мяса*, 3(1), 46–58. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-1-46-58>
30. Bontempo, L., Paolini, M., Franceschi, P., Ziller, L., García-González, D. L., Camin, F. (2019). Characterisation and attempted differentiation of European and extra-European olive oils using stable isotope ratio analysis. *Food Chemistry*, 276, 782–789. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.077>
31. Camin, F., Larcher, R., Nicolini, G., Bontempo, L., Bertoldi, D., Perini, M. et al. (2010). Isotopic and elemental data for tracing the origin of European olive oils. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 58(1), 570–577. <https://doi.org/10.1021/jf902814s>
32. Portarena, S., Baldacchini, C., Brugnoli, E. (2017). Geographical discrimination of extra-virgin olive oils from the Italian coasts by combining stable isotope data and carotenoid content within a multivariate analysis. *Food Chemistry*, 215, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.135>
33. Camin, F., Dordevic, N., Wehrens, R., Neteler, M., Delucchi, L., Postma, G. et al. (2015). Climatic and geographical dependence of the H, C and O stable isotope ratios of Italian wine. *Analytica Chimica Acta*, 853(1), 384–390. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.09.049>
34. Erasmus, S. W., Muller, M., Van Der Rijst, M., Hoffman, L. C. (2016). Stable isotope ratio analysis: A potential analytical tool for the authentication of South African lamb meat. *Food Chemistry*, 192, 997–1005. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.121>
35. Nečemer, M., Potočnik, D., Ogrinc, N. (2016). Discrimination between Slovenian cow, goat and sheep milk and cheese according to geographical origin using a combination of elemental content and stable isotope data. *Journal of Food Composition and Analysis*, 52, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.07.002>
36. Huang, J., Norgbey, E., Nkrumah, P.N., Appiah-Sefah, G., Michel, R. (2017). Elucidating the origin of milk products on the Chinese market using hydrogen and oxygen stable isotope technique. *Integrative Food, Nutrition and Metabolism*, 4(4). <https://doi.org/10.15761/IFNM.1000184>
37. Chung, I.-M., Kim, J.-K., Yang, Y.-J., An, Y.-J., Kim, S.-Y., Kwon, C. et al. (2020). A case study for geographical indication of organic milk in Korea using stable isotope ratios-based chemometric analysis. *Food Control*, 107, Article 106755. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106755>
38. Oganesyants L. A., Panasyuk A. L., Kuzmina E. I., Sviridov D. A. (2018). Modern analysis methods use in order to establish the geographic origin of food products. *Food systems*, 3(1), 4–9. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-1-4-9>
39. Jarosova, M., Milde, D., Kuba, M. (2014). Elemental analysis of coffee: A comparison of ICP-MS and AAS methods. *Czech Journal of Food Sciences*, 32(4), 354–359. <https://doi.org/10.17221/399/2013-cjfs>
40. Worku, M., Upadhayay, H. R., Latruwe, K., Taylor, A., Blake, W., Vanhaecke, F. et al. (2019). Differentiating the geographical origin of Ethiopian coffee using XRF- and ICP-based multi-element and stable isotope profiling. *Food Chemistry*, 290, 295–307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.135>
41. Carter, J. F., Yates H. S., Tinggi U. (2015). Isotopic and elemental composition of roasted coffee as a guide to authenticity and origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(24), 5771–5779. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01526>
42. Peng, C.-Y., Zhang, Y.-L., Song, W., Cai, H.-M., Wang, Y., Granato, D. (2019). Characterization of Brazilian coffee based on isotope ratio mass spectrometry ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, and $\delta^{15}\text{N}$) and supervised chemometrics. *Food Chemistry*, 297, Article 124963. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124963>
43. Liu, H.-C., You, C.-F., Chen, C.-Y., Liu, Y.-C., Chung, M.-T. (2014). Geographic determination of coffee beans using multi-element analysis and isotope ratios of boron and strontium. *Food Chemistry*, 142, 439–445. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.082>
44. Chemura, A., Mutanga, O., Dube, T. (2017). Separability of coffee leaf rust infection levels with machine learning methods at Sentinel-2 MSI spectral resolutions. *Precision Agriculture*, 18(5), 859–881. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9495-0>
45. Parraga-Alava, J., Cusme, K., Loor, A., Santander, E. (2019). RoCoLe: A robust coffee leaf images dataset for evaluation of machine learning based methods in plant diseases recognition. *Data in Brief*, 25, Article 104414. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104414>
46. Chemura, A., Mutanga, O., Sibanda, M., Chidoko, P. (2018). Machine learning prediction of coffee rust severity on leaves using spectroradiometer data. *Tropical Plant Pathology*, 43, 117–127. <https://doi.org/10.1007/s40858-017-0187-8>
47. Tridawati, A., Wikantika, K., Susantoro, T. M., Harto, A. B., Darmawan, S., Yatusman, L. F. et al. (2020). Mapping the distribution of coffee plantations from multi-resolution, multi-temporal, and multi-sensor data using a random forest algorithm remote sens. *Remote Sensing*, 12(23), Article 3933. <https://doi.org/10.3390/rs12233933>
48. Marin, D. B., Ferraz, G. A. S., Guimarães, P. H. S., Schwerz, F., Santana, L. S., Barbosa, B. D. S. et al. (2021). Remotely piloted aircraft and random forest in the evaluation of the spatial variability of foliar nitrogen in coffee crop. *Remote sensing*, 13(8), Article 1471. <https://doi.org/10.3390/rs13081471>
49. Schipilliti, L., Bonaccorsi, I., Buglia, A. G., Mondello, L. (2019). Comprehensive Isotopic Data Evaluation (CIDE) of carbon isotope ratios for quality assessment and traceability of coffee. *Food Analytical Methods*, 12, 121–127. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1344-5>
50. Serra, F., Guillou, C. G., Reniero, F., Ballarin, L., Cantagallo, M. I., Wieser, M. et al. (2005). Determination of the geographical origin of green coffee by principal component analysis of carbon, nitrogen and boron stable isotope ratios. *Rapid communications in mass spectrometry*, 19(15), 2111–2115. <https://doi.org/10.1002/rcm.2034>
51. Rodrigues, C. I., Maia, R., Miranda, M., Ribeiro, M., Nogueira, J. M. F., Maguas, C. (2009). Stable isotope analysis for green coffee bean: A possible method for geographic origin discrimination. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(5), 463–471. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.06.010>
52. Rodrigues, C. I., Maguas, C., Prohaska, T. (2011). Strontium and oxygen isotope fingerprinting of green coffee beans and its potential to proof authentication of coffee. *European Food Research and Technology*, 232(2), 361–373. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1362-z>
53. Bowen, G. J. (2020). The online isotopes in precipitation calculator version 3.1. Retrieved from <http://www.waterisotopes.org> Accessed November 10, 2021
54. Rodrigues, C., Brunner, M., Steiman, S., Bowen, G. J., Nogueira, J. M. F., Gautz, L. et al. (2011). Isotopes as tracers of the Hawaiian coffee-producing regions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(18), 10239–10246. <https://doi.org/10.1021/jf200788p>
55. Weigt, M., Brodie, C., Kracht, O. (2017). EA-IRMS: Tracing the geographical origin of coffee using isotope fingerprints. Thermo Fisher Scientific. Retrieved from <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/CMD/Application-Notes/AN-30427-EA-IRMS-Hydrogen-Oxygen-Coffee-AN30427-EN.pdf> Accessed December 11, 2021
56. Santato, A., Bertoldi, D., Perini, M., Camin, F., Larcher, R. (2012). Using elemental profiles and stable isotopes to trace the origin of green coffee beans on the global market. *Journal of Mass Spectrometry*, 47(9), 1132–1140. <https://doi.org/10.1002/jms.3018>
57. Rodrigues, C., Maia, R., Maguas, C. (2013). The application of isotope ratio mass spectrometry to the study of the ecophysiology of plant seeds. *Spectroscopy Europe*, 25(1), 12–18.

REFERENCES

1. Monthly Coffee Market Report (2020/21). International coffee organization. Retrieved from <https://ico.org/documents/cy2020-21/cmr-0921-e.pdf> Accessed December 11, 2021
2. Tishchenko, E. A., Tsyupko, T. G., Milevskaya, V. V., Temerdashev, A. Z. (2017). Identification and chromatographic determination of bioactive components in the instant coffee samples. *Analytics and control*,

- 21(3), 251–261. <https://doi.org/10.15826/analitika.2017.21.3.008> (In Russian)
3. Gunar, L. E., Kovalenko, A. S., Zakharov, A. S. (2017). Methods of identification, assessment of quality and safety of natural ground coffee: monograph. Moscow: Publishing house of RSAU-MTAA. 111. (In Russian)
4. Metlenkin, D. A., Platov, Yu. T., Platova, R. A., Rubtsov, A. E., Mikhaylova, A. M. (2021). Identification of coffee beans using fir-spectroscopy and multivariate analysis. *Izvestiya VUZov. Food technology*, 5–6(383–384), 92–97. <https://doi.org/10.26297/0579–3009.2021.5–6.17> (In Russian)
5. Sharma, H. A. (2020). A detail chemistry of coffee and its analysis. Chapter in book: Coffee-production and research. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91725>
6. Gopinandhan, T. N., Banakar, M., Ashwini, M. S., Basavaraj, K. (2014). A comparative study on caffeine estimation in coffee samples by different methods. *International Journal of Current Research in Chemistry and Pharmaceutical Sciences*, 1(8), 4–8. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11561.44644>
7. Yashin, A. Ya. (2014). HPLC of phenolic acids — antioxidants with amperometric detection. *Sorption and chromatography processes*, 14(3), 419–427. (In Russian)
8. Zaynulin, R. A., Kunakova, R. V., Egorova, E. Yu. (2015). Coffee, caffeine and human genetics. *Beer and Beverages*, 6, 50–54. (In Russian)
9. Why do plants need caffeine? Retrieved from <https://leplants.ru/events/zachem-rasteniyam-koferin/> Accessed November 25, 2021 (In Russian)
10. Caffeine is a bait for bees, improving their memory. Retrieved from <https://www.agroxxi.ru/zhurnal-agromir-xxi/stati-rastenievodstvo/koferin-primanka-dlja-pchel-uluchshayuschaja-ih-pamjat.html> Accessed November 25, 2021 (In Russian)
11. Antochin, A. M., Taranchenko, V. F., Vasilevsky, S. V., Aksenov, A. V., Aksenova, Ju. B., Kuznetsova, O. V. et al. (2016). Determination of the geographical region of growing the coffee beans by gas chromatography-combustion — isotope ratio mass spectrometry. *Mass-Spektrometriya*, 13(3), 176–182. (In Russian)
12. Arai, K., Terashima, H., Aizawa, S.-I., Taga A., Yamamoto A., Tsutsumiuchi K. et al. (2015). Simultaneous Determination of Trigonelline, Caffeine, Chlorogenic Acid and Their Related Compounds in Instant Coffee Samples by HPLC Using an Acidic Mobile Phase Containing Octanesulfonate. *Analytical Science*, 31(8), 831–835. <https://doi.org/10.2116/analsci.31.831>
13. Casal, S., Oliveira, M. B. P. P., Alves, M. R., Ferreira, M. A. (2000). Discriminate Analysis of Roasted Coffee Varieties for Trigonelline, Nicotinic Acid, and Caffeine Content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3420–3424. <https://doi.org/10.1021/jf990702b>
14. Ky, C.-L., Louarn, J., Dussert, S., Guyot, B., Hamon, S., Noirot, M. (2001). Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea Arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. *Food Chemistry*, 75(2), 223–230. [https://doi.org/10.1016/S0308–8146\(01\)00204–7](https://doi.org/10.1016/S0308–8146(01)00204–7)
15. Tfouni, S. A. V., Carreiro, L. B., Teles, C. R. A., Furlani, R. P. Z., Cipolli, K. M. V. A. B., Camargo M. C. R. (2014). Caffeine and chlorogenic acids intake from coffee brew: Influence of roasting degree and brewing procedure. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 747–752. <https://doi.org/10.1111/IJFS.12361>
16. Farah, A., De Paulis, T., Trugo, L. C., Martin, P. R. (2005). Effect of roasting on the formation of chlorogenic acid lactones in coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1505–1513. <https://doi.org/10.1021/jf048701t>
17. Casal, S., Beatriz Oliveira, M., Ferreira, M. A. (2000). HPLC/diode-array applied to the thermal degradation of trigonelline, nicotinic acid and caffeine in coffee. *Food Chemistry*, 68(4), 481–485. [https://doi.org/10.1016/S0308–8146\(99\)00228–9](https://doi.org/10.1016/S0308–8146(99)00228–9)
18. Bicho, N., Leitão, A., Ramalho, J. C., Lidon, F. C. (2011). Identification of chemical clusters discriminators of the roast degree in Arabica and Robusta coffee beans. *European Food Research and Technology*, 233(2), 303–311. <https://doi.org/10.1007/S00217–011–1518–5>
19. Nuhu, A. A. (2014). Bioactive Micronutrients in Coffee: Recent Analytical Approaches for Characterization and Quantification. *International Scholarly Research Notices*, 2014, Article 384230. <https://doi.org/10.1155/2014/384230>
20. Belay, A. (2011). Some biochemical compounds in coffee beans and methods developed for their analysis. *International Journal of Physical Sciences*, 6(28), 6373–6378. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.486>
21. Patil, P. N. (2012). Caffeine in various samples and their analysis with HPLC-a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 16(2), 76–83.
22. Weckerle, B., Richling, E., Heinrich, S., Schreier, P. (2002). Origin assessment of green coffee “*Coffea Arabica*” by multi-element stable isotope analysis of caffeine. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 374(5), 886–890. <https://doi.org/10.1007/s00216–002–1560-z>
23. Naumova, V. V. (2012). Information falsification of coffee. *Bulletin of medical internet conferences*, 2(2), 66. (In Russian)
24. Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., Kuz'mina, E. I., Sviridov, D. A. (2019). Use of modern instrumental analysis methods for establishing geographical place of wine products origin. *Beer and Beverages*, 4, 59–64. <https://doi.org/10.24411/2072–9650–2019–10002> (In Russian)
25. Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., Kuz'mina, E. I., Yalanetskiy, A. Ya., Zagorouiko, V. A. (2017). Ratio variations of ethanol carbon isotopes in wines based on vineyard geographical location. *Magarach. Viticulture and vinemaking*, 4, 38–40. (In Russian)
26. Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., Kuz'mina, E. I., Zyakun, A. M. (2013). Determination of exogenous water in wines by isotope ratio mass spectrometry. *Виноделие и виноградарство Winemaking and Viticulture*, 5, 19–21. (In Russian)
27. Sviridov, D. A., Ganin, M. Yu., Shilkin, A. A. (2022, 24–27 January). *Using the isotope mass spectrometry method to establish the geographical origin of coffee beans*. Actual problems of engineering, technology and education: collection of abstracts at the Proceedings of the III National Scientific and Practical Conference with international participation, Kerch, Russia. (In Russian)
28. Sviridov, D. A., Ganin, M. Yu., Shilkin, A. A. (2021, 25–28 January). *Using stable isotope ratios to identify the geographical origin of tea*. Actual problems of engineering, technology and education: collection of abstracts at the Proceedings of the II National Scientific and Practical Conference with international participation, Kerch, Russia. (In Russian)
29. Gorbunova, N. A. (2018). The possibility of using stable isotopes to identify the geographical origin of meat and meat products. Review. *Theory and Practice of Meat Processing*, 3(1), 46–58. <https://doi.org/10.21323/2414–438X-2018–3–1–46–58>. (in Russian)
30. Bontempo, L., Paolini, M., Franceschi, P., Ziller, L., García-González, D. L., Camin, F. (2019). Characterisation and attempted differentiation of European and extra-European olive oils using stable isotope ratio analysis. *Food Chemistry*, 276, 782–789. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.077>
31. Camin, F., Larcher, R., Nicolini, G., Bontempo, L., Bertoldi, D., Perini, M. et al. (2010). Isotopic and elemental data for tracing the origin of European olive oils. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 58, 570–577. <https://doi.org/10.1021/jf902814s>
32. Portarena, S., Baldacchini, C., Brugnoli, E. (2017). Geographical discrimination of extra-virgin olive oils from the Italian coasts by combining stable isotope data and carotenoid content within a multivariate analysis. *Food Chemistry*, 215, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.135>
33. Camin, F., Dordevic, N., Wehrens, R., Neteler, M., Delucchi, L., Postma, G. et al. (2015). Climatic and geographical dependence of the H, C and O stable isotope ratios of Italian wine. *Analytica Chimica Acta*, 853(1), 384–390. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.09.049>
34. Erasmus, S. W., Muller, M., Van Der Rijst, M., Hoffman, L. C. (2016). Stable isotope ratio analysis: A potential analytical tool for the authentication of South African lamb meat. *Food Chemistry*, 192, 997–1005. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.121>
35. Nečemer, M., Potočník, D., Ogrinc, N. (2016). Discrimination between Slovenian cow, goat and sheep milk and cheese according to geographical origin using a combination of elemental content and stable isotope data. *Journal of Food Composition and Analysis*, 52, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.07.002>
36. Huang, J., Norgbey, E., Nkrumah, P.N., Appiah-Sefah, G., Michel, R. (2017). Elucidating the origin of milk products on the Chinese market using hydrogen and oxygen stable isotope technique. *Integrative Food, Nutrition and Metabolism*, 4(4). <https://doi.org/10.15761/IFNM.1000184>
37. Chung, I.-M., Kim, J.-K., Yang, Y.-J., An, Y.-J., Kim, S.-Y., Kwon, C. et al. (2020). A case study for geographical indication of organic milk in Korea using stable isotope ratios-based chemometric analysis. *Food Control*, 107, Article 106755. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106755>
38. Oganesyants L. A., Panasyuk A. L., Kuz'mina E. I., Sviridov D. A. (2018). Modern analysis methods use in order to establish the geographic origin of food products. *Food systems*, 3(1), 4–9. <https://doi.org/10.21323/2618–9771–2020–3–1–4–9>
39. Jarosova, M., Milde, D., Kuba, M. (2014). Elemental analysis of coffee: a comparison of ICP-MS and AAS methods. *Czech Journal of Food Sciences*, 32(4), 354–359. <https://doi.org/10.17221/399/2013-cjfs>
40. Worku, M., Upadhyay, H. R., Latruwe, K., Taylor, A., Blake, W., Vanhaecke, F. et al. (2019). Differentiating the geographical origin of Ethiopian coffee using XRF- and ICP-based multi-element and stable isotope profiling. *Food Chemistry*, 290, 295–307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.135>
41. Carter, J. F., Yates H. S., Tinggi U. (2015). Isotopic and elemental composition of roasted coffee as a guide to authenticity and origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(24), 5771–5779. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01526>
42. Peng, C.-Y., Zhang, Y.-L., Song, W., Cai, H.-M., Wang, Y., Granato, D. (2019). Characterization of Brazilian coffee based on isotope ratio mass spectrometry ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, and $\delta^{15}\text{N}$) and supervised chemometrics. *Food Chemistry*, 297, Article 124963. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124963>
43. Liu, H.-C., You, C.-F., Chen, C.-Y., Liu, Y.-C., Chung, M.-T. (2014). Geographic determination of coffee beans using multi-element analysis and isotope ratios of boron and strontium. *Food Chemistry*, 142, 439–445. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.082>
44. Chemura, A., Mutanga, O., Dube, T. (2017). Separability of coffee leaf rust infection levels with machine learning methods at Sentinel-2 MSI spectral resolutions. *Precision Agriculture*, 18(5), 859–881. <https://doi.org/10.1007/s11119–016–9495–0>
45. Parraga-Alava, J., Cusme, K., Loo, A., Santander, E. (2019). RoCoLe: A robust coffee leaf images dataset for evaluation of machine learning based methods in plant diseases recognition. *Data in Brief*, 25, Article 104414. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104414>
46. Chemura, A., Mutanga, O., Sibanda, M., Chidoko, P. (2018). Machine learning prediction of coffee rust severity on leaves using spectroradiometer data. *Tropical Plant Pathology*, 43, 117–127. <https://doi.org/10.1007/s40858–017–0187–8>

47. Tridawati, A., Wikantika, K., Susantoro, T. M., Harto, A. B., Darmawan, S., Yayusman, L. F. et al. (2020). Mapping the distribution of coffee plantations from multi-resolution, multi-temporal, and multi-sensor data using a random forest algorithm remote sens. *Remote Sensing*, 12(23), Article 3933. <https://doi.org/10.3390/rs12233933>
48. Marin, D. B., Ferraz, G. A. E. S., Guimarães, P. H. S., Schwerz, F., Santana, L. S., Barbosa, B. D. S. et al. (2021). Remotely piloted aircraft and random forest in the evaluation of the spatial variability of foliar nitrogen in coffee crop. *Remote Sensing*, 13(8), Article 1471. <https://doi.org/10.3390/rs13081471>
49. Schipilliti, L., Bonaccorsi, I., Buglia, A. G., Mondello, L. (2019). Comprehensive Isotopic Data Evaluation (CIDE) of carbon isotope ratios for quality assessment and traceability of coffee. *Food Analytical Methods*, 12, 121–127. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1344-5>
50. Serra, F., Guillou, C. G., Reniero, F., Ballarin, L., Cantagallo, M. I., Wieser, M. et al. (2005). Determination of the geographical origin of green coffee by principal component analysis of carbon, nitrogen and boron stable isotope ratios. *Rapid communications in mass spectrometry*, 19(15), 2111–2115. <https://doi.org/10.1002/rcm.2034>
51. Rodrigues, C. I., Maia, R., Miranda, M., Ribeirinho, M., Nogueira, J. M. F., Maguas, C. (2009). Stable isotope analysis for green coffee bean: a possible method for geographic origin discrimination. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(5), 463–471. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.06.010>
52. Rodrigues, C. I., Maguas, C., Prohaska, T. (2011). Strontium and oxygen isotope fingerprinting of green coffee beans and its potential to proof authentication of coffee. *European Food Research and Technology*, 232(2), 361–373. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1362-z>
53. Bowen, G. J. (2020). The online isotopes in precipitation calculator version 3.1. Retrieved from <http://www.waterisotopes.org> Accessed November 10, 2021
54. Rodrigues, C., Brunner, M., Steiman, S., Bowen, G. J., Nogueira, J. M. F., Gautz, L. et al. (2011). Isotopes as tracers of the Hawaiian coffee-producing regions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(18), 10239–10246. <https://doi.org/10.1021/jf200788p>
55. Weigt, M., Brodie, C., Kracht, O. (2017). EA-IRMS: Tracing the geographical origin of coffee using isotope fingerprints. Thermo Fisher Scientific. Retrieved from <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/CMD/Application-Notes/AN-30427-EA-IRMS-Hydrogen-Oxygen-Coffee-AN30427-EN.pdf> Accessed December 11, 2021
56. Santato, A., Bertoldi, D., Perini, M., Camin, F., Larcher, R. (2012). Using elemental profiles and stable isotopes to trace the origin of green coffee beans on the global market. *Journal of Mass Spectrometry*, 47(9), 1132–1140. <https://doi.org/10.1002/jms.3018>
57. Rodrigues, C., Maia, R., Maguas, C. (2013). The application of isotope ratio mass spectrometry to the study of the ecophysiology of plant seeds. *Spectroscopy Europe*, 25(1), 12–18.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Кузьмина Елена Ивановна — кандидат технических наук, заведующая лабораторией технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-62-75 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7623-440X	Elena I. Kuzmina, candidate of technical sciences, head of the laboratory of technology of grape and fruit wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo St., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-62-75 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7623-440X
Ганин Михаил Юрьевич — младший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0518-1181 * автор для контактов	Mikhail Yu. Ganin, junior researcher, laboratory of technology of grape and fruit wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo St., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0518-1181 * corresponding author
Свиридов Дмитрий Александрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8367-3523	Dmitriy A. Sviridov, candidate of technical sciences, research senior, laboratory of technology of grape and fruit wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo St., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8367-3523
Егорова Олеся Сергеевна — научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0463-605X	Olesya S. Egorova, researcher, laboratory of technology of grape and fruit wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo St., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0463-605X
Шилкин Алексей Александрович — младший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1223-0703	Aleksey A. Shilkin, junior researcher, laboratory of technology of grape and fruit wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo St., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1223-0703
Акбулатова Диляра Рамилевна — младший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2209-7141	Dilyara R. Akbulatova, junior researcher, laboratory of technology of grape and fruit wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo St., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2209-7141
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/10.21323/2618-9771-2022-5-1-41-46>

Поступила 10.02.2022

Поступила после рецензирования 09.03.2022

Принята в печать 15.03.2022

© Зайцева М. В., Сураева Н. М., Самойлов А. В., 2022



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

Научная статья

Open access

ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СМЕСИ АСПАРТАМА И СОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ОСНОВЕ БИОТЕСТА

Зайцева М. В., Сураева Н. М.*, Самойлов А. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования,
Видное, Московская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

сорбиновая кислота, аспартам,
комбинированное воздействие,
Allium cepa, биотестирование,
цитотоксичность,
генотоксичность,
окислительный стресс

АННОТАЦИЯ

В условиях растительного биотестирования изучены биомаркеры субхронической токсичности бинарных смесей пищевых добавок сорбиновой кислоты и аспартама в концентрациях 50, 100 мг/л и 500, 1000 мг/л, соответственно. После инкубации корней *Allium cepa* в водных растворах этих соединений был проведен сравнительный анализ таких показателей, как прирост биомассы, уровень продукции маркера окислительного стресса, малоновый диальдегид (МДА), а также динамика накопления пролиферативных и цитогенетических нарушений. В комбинациях сорбиновой кислоты и аспартама 50/1000 и 100/500 мг/л, соответственно, наблюдалась достоверная задержка в приросте корней (более 60%) по сравнению с контролем. Однако после анализа результатов индивидуальной обработки добавками и в их смеси не было выявлено достоверных различий в эффектах на прирост массы корней. Было обнаружено, что, при обработке добавок смесью только сорбиновая кислота оказывала влияние на прирост массы корней, тогда как взаимодействие этих соединений было не существенно. Эффект комбинированного воздействия сорбиновой кислоты и аспартама на пролиферативную активность клеток меристемы оказывался более негативным, чем при обработке в монорежиме в аналогичных концентрациях. На этот показатель влияли как сорбиновая кислота, так и аспартам, но ведущая роль вновь принадлежала консерванту. При этом уровень пролиферации зависел еще и от эффекта взаимодействия этих добавок. Не был зафиксирован антагонистический эффект при обработке смесью данных консервантов в отношении показателя окислительного стресса. Хотя после индивидуальной обработки сорбиновой кислотой уровень МДА в корнях повышался более чем в 2 раза, тогда как аспартам, наоборот, наполовину снижал его уровень. Полученные результаты могут быть использованы для мониторинга и прогнозирования ранних последствий воздействия комбинаций сорбиновой кислоты и аспартама в составе продуктов питания.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № 0585–2019–00014–С–04 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 10.02.2021

Accepted in revised 09.03.2022

Accepted for publication 15.03.2022

© Zaytseva M. V., Suraeva N. M., Samoylov A. V., 2022

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

Original scientific article

Open access

ASSESSMENT OF THE TOXIC POTENTIAL OF A MIXTURE OF ASPARTAM AND SORBIC ACID WITH BIOASSAY

Mariya V. Zaytseva, Natal'ya M. Suraeva*, Artem V. Samoilov

Russian Research Institute of Canning Technology, Vidnoe, Moscow region, Russia

KEY WORDS:

sorbic acid, aspartame,
combined effects, *Allium cepa*,
bioassay, cytotoxicity,
genotoxicity, oxidative stress

ABSTRACT

The biomarkers of the subchronic toxicity of binary mixtures of food additives sorbic acid and aspartame in concentrations of 50, 100 mg/l and 500, 1000 mg/l, respectively, were studied using plant biotests. A comparative analysis of the indicators such as biomass gain, a level of production of the oxidative stress marker, malondialdehyde (MDA), and dynamics of accumulation of proliferative and cytogenetic disorders was carried out after incubation of *Allium cepa* roots in the aqueous solutions of these compounds. A significant delay in the root growth (more than 60%) was observed in the combinations of sorbic acid and aspartame of 50/1000 and 100/500 mg/l compared to the control. However, significant differences in the effects on root mass gain were not revealed after analysis of the results of treatment with additives individually and with their mixture. It was found that upon treatment with the mixture of additives, only sorbic acid influenced root mass gain, while the interaction of these compounds was insignificant. An effect of the combined impact of sorbic acid and aspartame on the proliferative activity of meristem cells was more negative than upon treatment in the mono-mode in the similar concentrations. This indicator was affected by both sorbic acid and aspartame; however, the preserving agent again played the leading role. Moreover, the level of proliferation also depended on the effect of the interaction between these additives. The antagonistic effect in regard to the indicator of the oxidative stress was not recorded when treating with the mixture of these additives; although, the MDA level in roots increased

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зайцева, М. В., Сураева, Н. М., Самойлов, А. В. (2022). Оценка токсического потенциала смеси аспартама и сорбиновой кислоты на основе биотеста. *Пищевые системы*, 5(1), 41-46. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-41-46>

FOR CITATION: Zaytseva, M. V., Suraeva, N. M., Samoilov, A. V. (2022). Assessment of the toxic potential of a mixture of aspartam and sorbic acid with bioassay. *Food systems*, 5(1), 41-46. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-41-46>

more than twice upon individual treatment with sorbic acid, while aspartame, on the contrary, reduced its level by half. The obtained results can be used to monitor and predict early consequences of effects of combinations of sorbic acid and aspartame in the food composition.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. 0585–2019–00014-C-04 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

В индустрии производства продуктов питания наблюдается непрерывный рост разнообразия и объемов пищевых добавок. На данный момент в список пищевых добавок, разрешенных к применению в производстве пищевой продукции на территории государств-членов Таможенного союза, входит более 600 веществ¹. В зависимости от функциональной принадлежности выделяют 23 класса пищевых добавок². При этом в составе продуктов часто используются сразу несколько видов пищевых добавок в различных сочетаниях в качестве консервантов, подсластителей, усилителей вкуса, регуляторов кислотности, антиокислителей, стабилизаторов, загустителей, технологических средств [1]. Добавление смеси аспартама и сорбиновой кислоты допустимо во многих продуктах, таких как слабоалкогольные и безалкогольные напитки, продукты из плодов и овощей, а также в продукции со сниженной калорийностью или без добавления сахара¹.

Подсластители вошли в пищевую промышленность еще в 1800-х годах и теперь являются неотъемлемыми компонентами многих продуктов питания. Особую популярность данная группа пищевых добавок приобрела вследствие распространения среди населения развитых стран такого заболевания, как диабет. Аспартам является одним из популярных искусственных подсластителей [2]. Согласно официальной оценке ВОЗ, аспартам полностью безопасен для употребления в рекомендуемой суточной дозе 40 мг/кг веса тела [3] — несмотря на это, в научной литературе регулярно публикуются исследования, связанные с изучением токсического потенциала этого подсластителя.

Считается, что аспартам не обладает генотоксичной активностью [4], однако известны данные, что метаболиты этого соединения могут обладать канцерогенными свойствами [5]. Кроме этого, было показано, что частое и постоянное употребление аспартама может вызвать различные проблемы со здоровьем, такие как судороги, аллергия, одышка, головные боли, перепады настроения и рак [6]. При оценке влияния аспартама на гистологическую структуру плаценты у взрослых крыс-альбиносов было отмечено значительное снижение средней массы плаценты и средней ее толщины. Также были выявлены многочисленные изменения в структуре клеток плаценты и плода [7]. Проявление физиологической токсичности аспартама также может быть обусловлено продуктами его метаболизма, в частности метанолом. Так, было проведено исследование длительного введения (90 дней) аспартама в суточной дозе 40 мг/кг массы тела самцов крыс-альбиносов. По итогам эксперимента было показано, что у животных наблюдалось заметное снижение обучаемости, были выявлены изменения в пространственной ориентации и ослабление памяти. В тканях мозга животных также было обнаружено снижение уровня фосфорилирования сигнального пути NMDAR1–CaMKII–ERK/CREB,

связанного с ухудшением памяти. Этот эффект может быть вызван негативным влиянием метанола [8]. В другой работе с проведением эксперимента на крысах было продемонстрировано, что аспартам в дозах ниже порога допустимого суточного потребления может быть причиной значительной дисфункции эндотелия сосудов, тем самым значительно повысить кардиометаболический риск [9].

Сорбиновая кислота часто применяется в качестве ингибитора роста микроорганизмов, ответственных за порчу продуктов питания [10]. Тем не менее были опубликованы данные об ингибирующем влиянии сорбиновой кислоты на биохимические реакции в процессе активированного иммунного ответа в культуре клеток крови человека [11]. Было продемонстрировано, что обработка сорбатом калия значительно увеличивает частоту хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови человека в концентрациях 500 и 1000 мкг/мл; в этом процессе повышался и сестринский хроматидный обмен при 250, 500, 1000 мкг/мл в течение 24 часов, а также 125, 250, 500, 1000 мкг / мл в течение 48 часов по сравнению с контролем [12].

Как уже было отмечено ранее, фокус внимания в последние десятилетия смещается на оценку совместных эффектов воздействия пищевых добавок на метаболические процессы в организме, так как их комбинации могут вызывать аддитивные, синергетические и антагонистические эффекты. Например, при тестировании смеси глутамата натрия (8 мг/кг) и аспартама (32 мг/кг) на мышцах-альбиносах было зафиксировано значительное снижение концентрации нейротрансмиттеров (дофамина и серотонина) в головном мозге, повышался уровень окислительного стресса, тогда как при индивидуальной обработке этими соединениями подобные эффекты не наблюдались [13]. В другой работе на ракообразных *Artemia salina* была оценена токсичность трех пищевых красителей (кармуазина, желтого «солнечный закат», синего «блестящего») и аспартама [14]. При тестировании бинарных комбинаций красителей с аспартамом была зафиксирована самая низкая полулетальная концентрация (42 мг/л) с желтым «солнечный закат», а самая высокая — с синим «блестящим» (88 мг/л). Тогда как при индивидуальной обработке животных красителями, наоборот, кармуазин оказался более токсичным (40 мг/л) по сравнению с желтым красителем (81 мг/л). Было проведено исследование цитотоксичности аспартама и сорбата калия на клеточной линии гепатоцеллюлярной карциномы человека HepG2 [15]. Эти клетки по функциональным характеристикам аналогичны нормальным гепатоцитам, поэтому их используют в качестве моделей для оценки различных химических соединений. Оказалось, что при обработке этих клеток аспартамом и сорбатом калия был обнаружен негативный синергический эффект в отношении таких показателей, как уровень пролиферации, метаболической активности, образования активных форм кислорода, целостности плазматической мембраны и ДНК. В другой работе были рассмотрены эффекты совместного воздействия сорбиновой и бензойной кислоты на корни лука репчатого [16]. Было зафиксировано, что влияние консервантов на прирост биомассы корней и накопление в них МДА носило антагонистический характер в дозах смеси до 50 мг/л. Взаимовлияние этих консервантов на показатели пролиферативной активности и частоты патологий митоза

¹ ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (с изменениями на 18 сентября 2014 года), принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 года N58.

² Кодекс Алиментариус. Маркировка пищевых продуктов. Полные тексты К 57 / Пер. с англ., ФАО, ВОЗ — М.: Издательство «Весь Мир», 2006. — 62 с.

в клетках апикальной меристемы определялось как синергетическое. Следует отметить, что биотестирование на моделях растений является высокочувствительным и простым методом оценки токсичных эффектов пищевых добавок [17,18]. Важно, что этот подход позволяет исследовать механизмы детоксикации и метаболизма различных соединений в наиболее приближенном к организму человека виде, не используя лабораторных животных. Поэтому цель нашей работы состояла в оценке характера комбинированного воздействия смеси сорбиновой кислоты и аспартама на прирост биомассы, клеточный уровень активности ферментов перекисного окисления липидов, природу и частоту пролиферативных и цитогенетических нарушений в корнях *Allium cepa*.

2. Материалы и методы

В работе использовали сорбиновую кислоту (Thermo Fisher Scientific, США) и аспартам (Thermo Fisher Scientific, США), а также луковицы *Allium cepa* L. сорта «Штутгартен» одинакового размера (1,5–2 см в диаметре). Перед обработкой пищевыми добавками луковицы инкубировались в бутилированной воде течение двух суток в термостате (25 °C), затем отбирались образцы с максимальным количеством корней и длиной не менее 1 см. На этапе отбора после проращивания фиксировалась средняя масса прироста корней в течение указанного периода. Инкубацию корней в водных растворах пищевых добавок проводили в течение двух суток. В качестве отрицательного контроля использовали воду. Уровень липидного окисления определяли по концентрации МДА в корнях лука [19]. Для цитологического анализа корни фиксировались в растворе Кларка (96% этилового спирта и ледяной уксусной кислоты, 3:1). Затем образцы отмывали в дистиллированной воде от раствора Кларка и помещали в 2% раствор ацетоорсеина в уксусной кислоте. Для длительного хранения корней был использован 70% раствор этилового спирта. Анализ моментальных давленных препаратов осуществлялся с помощью светового микроскопа Axioskop 40, Zeiss. Препараты просматривались по индивидуальному Z-образному маршруту для исключения повторного учета одних и тех же клеток. По каждому варианту опыта было просмотрено и учтено порядка 10 000 клеток.

Статистическую обработку результатов проводили в программах Microsoft Excel и Statistica (v. 12). Статистический анализ данных осуществляли двухфакторным дисперсионным анализом (АНОВА) с оценкой попарных различий с помощью критерия Тьюки.

3. Результаты и обсуждение

В данной работе оценивались эффекты совместного воздействия на корни *A. cepa* смесей сорбиновой кислоты и аспартама в концентрациях 50, 100 мг/л и 500, 1000 мг/л, соответственно. Ранее было обнаружено, что при индивидуальной обработке указанные дозы этих добавок вызывали субхронические токсичные эффекты на прирост корней лука [20]. При этом наиболее неблагоприятное воздействие на этот показатель оказывала сорбиновая кислота в дозе 100 мг/л, снижая наполовину прирост массы корней по сравнению с контролем. Как видно из Таблицы 1, при инкубации корней в смесях этих добавок также наблюдалась задержка в приросте корней по сравнению с контролем, однако достоверные различия (более 60%) были зафиксированы только в комбинациях сорбиновой кислоты и аспартама 50/1000 и 100/500 мг/л, соответственно. Согласно результатам дисперсионного анализа, при попарном сравнении влияния каждой из добавок после индивидуальной обработки ими корней и в смеси не было выявлено достоверных различий в эффектах на прирост их массы.

Таблица 1. Прирост массы корней и митотический индекс при воздействии растворов сорбиновой кислот (С) и аспартама (А) в течение двух суток (n = 7)

Table 1. Root mass gain and mitotic index upon exposure to the solutions of sorbic acid (C) and aspartame (A) during two days (n = 7)

Концентрации веществ, мг/л	Прирост массы корней, г/луковицу	Митотический индекс, %
Контроль	0,172 ± 0,028	9,98 ± 0,30
С, 50	0,108 ± 0,024	7,02 ± 0,25
С, 100	0,050 ± 0,016 ^a	1,47 ± 0,12 ^a
А, 500	0,158 ± 0,021	8,01 ± 0,29
А, 1000	0,134 ± 0,043	6,73 ± 0,25
С + А, 50 + 500	0,067 ± 0,015	6,13 ± 0,26
С + А, 50 + 1000	0,053 ± 0,021 ^a	4,21 ± 0,20 ^{ab}
С + А, 100 + 500	0,057 ± 0,018 ^a	1,97 ± 0,14 ^{ac}
С + А, 100 + 1000	0,080 ± 0,026	0,02 ± 0,01 ^{abc}

Примечание: статистически значимые различия ^a — $p < 0,05$ в сравнении с контролем, ^b — $p < 0,05$ в сравнении с СК в индивидуальной концентрации (50 и 100 мг/л), ^c — $p < 0,05$ в сравнении с аспартамом в индивидуальной концентрации (500 и 1000 мг/л).

Значение митотического индекса значительно понижалось во всех образцах после инкубации в смесях добавок по сравнению с контролем вплоть до полной остановки клеточного деления, кроме комбинации сорбиновой кислоты и аспартама в концентрациях 50/500 мг/л (Таблица 1). При этом эффект воздействия добавок на этот показатель в случае их присутствия в составе смеси оказывался более негативным, чем при обработке в монорежиме в аналогичных концентрациях.

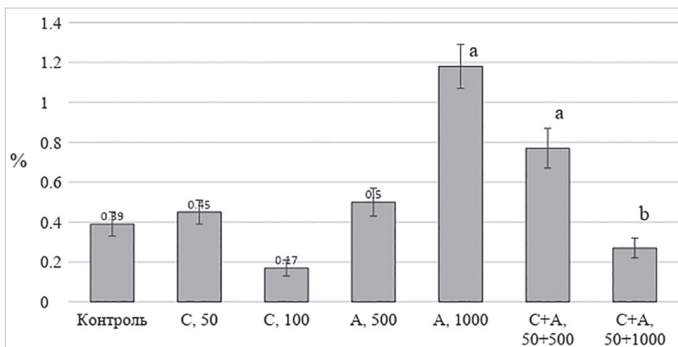
Полученные данные также были проанализированы с помощью двухфакторного дисперсионного анализа на основе расчета количественного значения F -критерия Фишера. Были оценены реакции корней лука (прирост массы и митотическая активность клеток меристемы) на воздействие таких факторов, как сорбиновая кислота и аспартам. Как видно из Таблицы 2, на прирост массы корней оказывала влияние только сорбиновая кислота, тогда как взаимодействие данных факторов было не существенно. На митотический индекс влияли оба фактора, но ведущая роль вновь принадлежала сорбиновой кислоте. Уровень пролиферации зависел и от эффекта взаимодействия сорбиновой кислоты и аспартама.

Таблица 2. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для оценки показателей растительного биотестирования (приведено значение F -критерия Фишера)

Table 2. Results of two-way ANOVA for assessment of the indicators of plant biotests (F-values are given)

Показатель биотеста	Источник варьирования					
	Сорбиновая кислота (dF = 2)		Аспартам (dF = 2)		Взаимодействие факторов (dF = 4)	
	F	p	F	p	F	p
Прирост массы корней	12,0	< 0,001	0,6	0,573	0,9	0,494
Митотический индекс	421,0	< 0,001	77,2	< 0,001	31,8	< 0,001

Сравнительная оценка уровня хромосомных aberrаций проводилась в образцах со значением митотического индекса не ниже 2, чтобы исключить данные, которые были обусловлены не снижением доли хромосомных aberrаций, а отсутствием достаточного количества делящихся клеток в меристеме корней (Рисунок 1). В этой связи интересно отметить, что максимальное достоверное повышение уровня



Примечание: вертикальные планки погрешностей обозначают величину ошибки доли, буквами обозначены статистически значимые различия ^a — $p < 0,05$ в сравнении с контролем, ^b — $p < 0,05$ в сравнении с аспартамом в индивидуальной концентрации (500 и 1000 мг/л).

Рисунок 1. Уровень хромосомных aberrаций (%) в условиях биотестирования при воздействии растворов сорбиновой кислоты (C, мг/л) и аспартама (A, мг/л) в течение двух суток

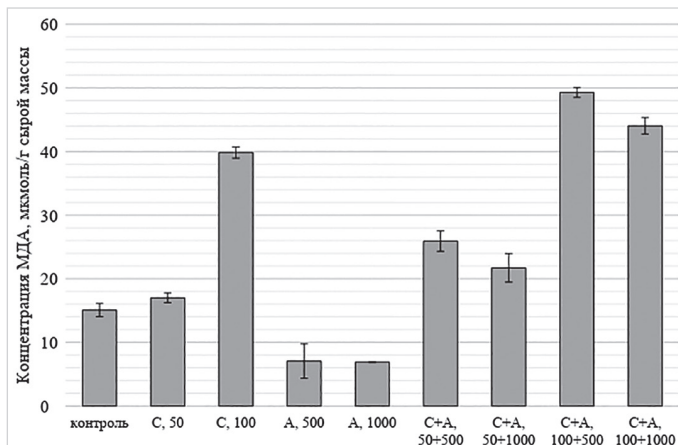
Figure 1. Level of chromosomal aberrations (%) in biotests upon exposure to the solutions of sorbic acid (C, mg/l) and aspartame (A, mg/l) during two days

хромосомных aberrаций по сравнению с контролем, как при индивидуальной обработке добавками, так и их смесей, было зафиксировано после воздействия аспартамом в дозе 1000 мг/л. При этом генотоксичный эффект не был зафиксирован при инкубации корней в смеси 50/1000 мг/л сорбиновой кислоты и аспартама.

При исследовании потенциальной токсичности компонентов пищевых матриц все чаще регистрируются показатели активности окислительного стресса [21], например, уровень продукции МДА как индикатор процесса перекисного окисления липидов. Так, известно, что при обработке корней лука сорбиновой кислотой дозозависимо в несколько раз повышался уровень МДА [20]. Насколько нам известно, это первые эксперименты, в которых была изучена динамика генерации биомаркера липидного окисления в условиях Allium-теста после воздействия аспартама. Оказалось, что после обработки корней лука этим подсластителем в концентрациях 500 и 1000 мг/л уровень МДА снижался вдвое по сравнению с контролем (Рисунок 2). Однако после инкубации корней в смесях этих добавок антагонистического эффекта обнаружено не было, так как присутствие аспартама не приводило к снижению уровня МДА.

4. Заключение

Производители постоянно расширяют список пищевых синтетических добавок, поэтому важным аспектом безопасности переработанных продуктов питания является контроль их состава. Несмотря на принятые регламенты использования указанных добавок, вопрос о возможных негативных последствиях их употребления для здоровья человека остается открытым. Эти риски могут быть обусловлены чрезмерным употреблением пищевых добавок в составе



Примечание: вертикальные планки погрешностей обозначают величину стандартного отклонения.

Рисунок 2. Концентрация МДА в корнях лука репчатого A. cepa при добавлении сорбиновой кислоты (C, мг/л) и аспартама (A, мг/л), и их смесей

Figure 2. MDA concentration in the *A. cepa* roots upon addition of sorbic acid (C, mg/l), aspartame (A, mg/l) and their mixtures

определенных продуктов, их способностью вызывать как аллергические, так и нежелательные адаптационные реакции. Особая озабоченность научного сообщества связана с продуктами, в состав которых входят несколько пищевых добавок в связи с возможностью проявления аддитивного и синергетического эффекта токсичности, так как для большинства из них не предусмотрены нормы их совместного содержания в составе одного вида продукции. Поэтому особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение механизмов воздействия комбинаций пищевых добавок в условиях биотестирования.

В настоящем исследовании были обнаружены различия в воздействии на физиологические, биохимические, цитологические и генетические характеристики корней *A. cepa* после индивидуальных обработок в субхронических дозах сорбиновой кислотой и аспартамом, а также в смесях этих пищевых добавок. Основные эффекты совместного влияния этих добавок были выявлены при анализе статистических данных по пролиферативной активности клеток меристемы. Оказалось, что при попарном сравнении влияния каждой из добавок после индивидуальной обработки ими корней и в смеси, более низкие достоверные значения митотического индекса были отмечены при совместном воздействии этих соединений. Кроме этого было продемонстрировано, что взаимодействие таких пищевых добавок, как сорбиновая кислота и аспартам, значимо влияло на активность пролиферации. Часто в состав продуктов питания входят более двух добавок, поэтому целесообразны дальнейшие исследования по выявлению эффектов комбинированного воздействия возможных сочетаний этих соединений для конкретных видов пищевой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- García-Jiménez, J. F., Valencia, M. C., Capitán-Vallvey, L. F. (2007). Simultaneous determination of antioxidants, preservatives and sweetener additives in food and cosmetics by flow injection analysis coupled to a monolithic column. *Analytica Chimica Acta*, 594(2), 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.05.040>
- Chattopadhyay, S., Raychaudhuri, U., Chakraborty, R. (2014). Artificial sweeteners — A review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(4), 611–621. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0571-1>
- EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). (2013). Scientific Opinion on the re-evaluation of aspartame (E951) as a food additive. *EFSA Journal*, 11(12), Article 3496. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3496>
- Wikoff, D. S., Chappell, G. A., Fitch, S., Doepker, C. L., Borghoff, S. J. (2020). Lack of potential carcinogenicity for aspartame — systematic evaluation and integration of mechanistic data into the totality of the evidence. *Food and Chemical Toxicology*, 135 Article 110866. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110866>
- Carocho, M., Morales, P., Ferreira, I. C. F. R. (2017). Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come. *Food and Chemical Toxicology*, 107, 302–317. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.06.046>

6. Soffritti, M., Belpoggi, F., Tibaldi, E., Esposti, D. D., Lauriola, M. (2007). Life-span exposure to low doses of aspartame beginning during prenatal life increases cancer effects in rats. *Environmental Health Perspectives*, 115(9), 1293–1297. <https://doi.org/10.1289/ehp.10271>
7. Shalaby, A. M., Ibrahim, M. A. A. H., Aboregela, A. M. (2019). Effect of aspartame on the placenta of adult albino rat. A histological and immunohistochemical study. *Annals of Anatomy*, 224, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2019.04.007>
8. Iyaswamy, A., Kammella, A. K., Thavasimuthu, C., Wankupar, W., Dapku-par, W., Shanmugam, S. et al. (2018). Oxidative stress evoked damages leading to attenuated memory and inhibition of NMDAR–CaMKII–ERK/CREB signalling on consumption of aspartame in rat model. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(2), 903–916. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.11.001>
9. Risdon, S., Meyer, G., Marziou, A., Riva, C., Roustit, M., Walther, G. (2020). Artificial sweeteners impair endothelial vascular reactivity: Preliminary results in rodents. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 30(5), 843–846. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2020.01.014>
10. de Jesus, J. H. F., Szilágyi, I. M., Regdon, G., Jr., Cavaleiro, E. T. G. (2021). Thermal behavior of food preservative sorbic acid and its derivatives. *Food Chemistry*, 337, Article 127770. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127770>
11. Winkler, C., Frick, B., Schroecksnadel, K., Schennach, H., Fuchs, D. (2006). Food preservatives sodium sulfite and sorbic acid suppress mitogen-stimulated peripheral blood mononuclear cells. *Food and Chemical Toxicology*, 44(12), 2003–2007. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.06.019>
12. Mamur, S., Yüzbaşıoğlu, D., Ünal, F., Yilmaz, S. (2010). Does potassium sorbate induce genotoxic or mutagenic effects in lymphocytes? *Toxicology in Vitro*, 24(3), 790–794. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2009.12.021>
13. Abu-Taweel, G. M., A., Z. M., Ajarem, J. S., & Ahmad, M. (2014). Cognitive and biochemical effects of monosodium glutamate and aspartame, administered individually and in combination in male albino mice. *Neurotoxicology and Teratology*, 42, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2014.02.001>
14. Vakili-Saatloo, N., Sadighara, P., Jahed-Khaniki, G., Ebrahimi, N., Nabizadeh, S. (2015). Evaluating the interaction effects of using common synthetic food dyes and aspartame by *Artemia salina* toxicity test. *Journal of Food Safety and Hygiene*, 1(1), 13–17.
15. Qu, D., Jiang, M., Huang, D., Zhang, H., Feng, L., Chen, Y. et al. (2019). Synergistic effects of the enhancements to mitochondrial ROS, p53 activation and apoptosis generated by aspartame and potassium sorbate in HepG2 cells. *Molecules*, 24(3), Article 457. <https://doi.org/10.3390/molecules24030457>
16. Зайцева, М. В., Сураева, Н. М., Самойлов, А. В., Курбанова, М. Н., Столбова, В. В. (2020). Эффекты комбинированного воздействия на корни *Allium cepa* потенциальных загрязнителей окружающей среды бензойной и сорбиновой кислот. *Проблемы агрохимии и экологии*, 4, 56–62. <https://doi.org/10.26178/AE.2020.54.71.009>
17. Türkoğlu, S. (2008). Evaluation of genotoxic effects of sodium propionate, calcium propionate and potassium propionate on the root meristem cells of allium cepa. *Food and Chemical Toxicology*, 46(6), 2035–2041. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.01.043>
18. Koç, K., Pandir, D. (2018). All aspect of toxic effect of brilliant blue and sunset yellow in allium cepa roots. *Cytotechnology*, 70(1), 449–463. <https://doi.org/10.1007/s10616-017-0161-9>
19. Zhang, H., Jiang, Y., He, Z., Ma, M. (2005). Cadmium accumulation and oxidative burst in garlic (*allium sativum*). *Journal of Plant Physiology*, 162(9), 977–984. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.10.001>
20. Samoylov, A. V., Suraeva, N. M., Zaytseva, M. V., Rachkova, V. P., Kurbanova, M. N., Petrov, A. N. (2020). Comparative assessment of sorbic and benzoic acid via express biotest. *Foods and Raw Materials*, 8(1), 125–133. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-125-133>
21. Samoylov, A. V., Suraeva, N. M., Zaytseva, M. V., Rachkova, V. P., Kurbanova, M. N., Belozarov, G. A. (2020). Toxicity of apple juice and its components in the model plant system. *Foods and Raw Materials*, 8(2), 321–328. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-321-328>

REFERENCES

1. García-Jiménez, J. F., Valencia, M. C., Capitán-Vallvey, L. F. (2007). Simultaneous determination of antioxidants, preservatives and sweetener additives in food and cosmetics by flow injection analysis coupled to a monolithic column. *Analytica Chimica Acta*, 594(2), 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.05.040>
2. Chattopadhyay, S., Raychaudhuri, U., Chakraborty, R. (2014). Artificial sweeteners — A review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(4), 611–621. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0571-1>
3. EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). (2013). Scientific Opinion on the re-evaluation of aspartame (E951) as a food additive. *EFSA Journal*, 11(12), Article 3496. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3496>
4. Wikoff, D. S., Chappell, G. A., Fitch, S., Doepker, C. L., Borghoff, S. J. (2020). Lack of potential carcinogenicity for aspartame — systematic evaluation and integration of mechanistic data into the totality of the evidence. *Food and Chemical Toxicology*, 135, Article 110866. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110866>
5. Carrocho, M., Morales, P., Ferreira, I. C. F. R. (2017). Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come. *Food and Chemical Toxicology*, 107, 302–317. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.06.046>
6. Soffritti, M., Belpoggi, F., Tibaldi, E., Esposti, D. D., Lauriola, M. (2007). Life-span exposure to low doses of aspartame beginning during prenatal life increases cancer effects in rats. *Environmental Health Perspectives*, 115(9), 1293–1297. <https://doi.org/10.1289/ehp.10271>
7. Shalaby, A. M., Ibrahim, M. A. A. H., Aboregela, A. M. (2019). Effect of aspartame on the placenta of adult albino rat. A histological and immunohistochemical study. *Annals of Anatomy*, 224, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2019.04.007>
8. Iyaswamy, A., Kammella, A. K., Thavasimuthu, C., Wankupar, W., Dapku-par, W., Shanmugam, S. et al. (2018). Oxidative stress evoked damages leading to attenuated memory and inhibition of NMDAR–CaMKII–ERK/CREB signalling on consumption of aspartame in rat model. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(2), 903–916. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.11.001>
9. Risdon, S., Meyer, G., Marziou, A., Riva, C., Roustit, M., Walther, G. (2020). Artificial sweeteners impair endothelial vascular reactivity: Preliminary results in rodents. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 30(5), 843–846. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2020.01.014>
10. de Jesus, J. H. F., Szilágyi, I. M., Regdon, G., Jr., Cavaleiro, E. T. G. (2021). Thermal behavior of food preservative sorbic acid and its derivatives. *Food Chemistry*, 337, Article 127770. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127770>
11. Winkler, C., Frick, B., Schroecksnadel, K., Schennach, H., Fuchs, D. (2006). Food preservatives sodium sulfite and sorbic acid suppress mitogen-stimulated peripheral blood mononuclear cells. *Food and Chemical Toxicology*, 44(12), 2003–2007. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.06.019>
12. Mamur, S., Yüzbaşıoğlu, D., Ünal, F., Yilmaz, S. (2010). Does potassium sorbate induce genotoxic or mutagenic effects in lymphocytes? *Toxicology in Vitro*, 24(3), 790–794. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2009.12.021>
13. Abu-Taweel, G. M., A., Z. M., Ajarem, J. S., & Ahmad, M. (2014). Cognitive and biochemical effects of monosodium glutamate and aspartame, administered individually and in combination in male albino mice. *Neurotoxicology and Teratology*, 42, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2014.02.001>
14. Vakili-Saatloo, N., Sadighara, P., Jahed-Khaniki, G., Ebrahimi, N., Nabizadeh, S. (2015). Evaluating the interaction effects of using common synthetic food dyes and aspartame by *Artemia salina* toxicity test. *Journal of Food Safety and Hygiene*, 1(1), 13–17.
15. Qu, D., Jiang, M., Huang, D., Zhang, H., Feng, L., Chen, Y. et al. (2019). Synergistic effects of the enhancements to mitochondrial ROS, p53 activation and apoptosis generated by aspartame and potassium sorbate in HepG2 cells. *Molecules*, 24(3), Article 457. <https://doi.org/10.3390/molecules24030457>
16. Zaitseva, M. V., Suraeva, N. M., Samoilov, A. V., Kurbanova, M. N., Stolbova, V. V. (2020). Effects of a combined action on the roots of the plant biotester *Allium cepa* of potential environmental pollutants benzoic and sorbic acids. *Problemy Agrokhimii i Ekologii*, 4, 56–62. <https://doi.org/10.26178/AE.2020.54.71.009>
17. Türkoğlu, S. (2008). Evaluation of genotoxic effects of sodium propionate, calcium propionate and potassium propionate on the root meristem cells of allium cepa. *Food and Chemical Toxicology*, 46(6), 2035–2041. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.01.043>
18. Koç, K., Pandir, D. (2018). All aspect of toxic effect of brilliant blue and sunset yellow in allium cepa roots. *Cytotechnology*, 70(1), 449–463. <https://doi.org/10.1007/s10616-017-0161-9>
19. Zhang, H., Jiang, Y., He, Z., Ma, M. (2005). Cadmium accumulation and oxidative burst in garlic (*allium sativum*). *Journal of Plant Physiology*, 162(9), 977–984. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.10.001>
20. Samoylov, A. V., Suraeva, N. M., Zaytseva, M. V., Rachkova, V. P., Kurbanova, M. N., Petrov, A. N. (2020). Comparative assessment of sorbic and benzoic acid via express biotest. *Foods and Raw Materials*, 8(1), 125–133. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-125-133>
21. Samoylov, A. V., Suraeva, N. M., Zaytseva, M. V., Rachkova, V. P., Kurbanova, M. N., Belozarov, G. A. (2020). Toxicity of apple juice and its components in the model plant system. *Foods and Raw Materials*, 8(2), 321–328. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-321-328>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Зайцева Мария Вячеславовна — младший научный сотрудник, лаборатория качества и безопасности пищевой продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Россия, Московская область, г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-87-00 E-mail: mascha.zajtseva2014@yandex.ru https://orcid.org/0000-0002-6624-883X Сураева Наталья Михайловна — доктор биологических наук, главный научный сотрудник, лаборатория качества и безопасности пищевой продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Россия, Московская область, г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-87-00 E-mail: nsuraeva@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0144-8128 * автор для контактов Самойлов Артем Владимирович — кандидат биологических наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Россия, Московская область, г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-87-00 E-mail: molgen@vniitek.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5655-174X	Mariya V. Zajtseva, junior researcher, Laboratory of quality and safety of food products, Russian Research Institute of Canning Technology 78, Shkolnaia Str., 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-87-00 E-mail: mascha.zajtseva2014@yandex.ru https://orcid.org/0000-0002-6624-883X Natal'ya M. Suraeva, doctor of biological sciences, Laboratory of quality and safety of food products, Russian Research Institute of Canning Technology 78, Shkolnaia Str., 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-87-00 E-mail: nsuraeva@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0144-8128 * corresponding author Artem V. Samoilov, candidate of biological sciences, Director, Russian Research Institute of Canning Technology 78, Shkolnaia Str., 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-87-00 E-mail: molgen@vniitek.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5655-174X
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/10.21323/2618-9771-2022-5-1-47-54>

Поступила 20.02.2022

Поступила после рецензирования 14.03.2022

Принята в печать 25.03.2022

© Мягконос Д. С., Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Овчинникова Е. Г., 2022



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

Научная статья

Open access

ПРОТЕОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩИХ ФЕРМЕНТОВ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Мягконос Д. С.*, Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Овчинникова Е. Г.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

молокосвертывающие ферменты, молокосвертывающая активность, протеолитическая активность

АННОТАЦИЯ

Был исследован показатель соотношения молокосвертывающей (МСА) и протеолитической (ПА) активности для молокосвертывающих ферментных препаратов (МФП) на основе рекомбинантного химозина, животного происхождения и микробного происхождения. Величина МСА была измерена в единицах IMCU (International Milk-Clotting Units), величина ПА определялась методом Ансона на субстрате из гемоглобина при 30 °C и pH 5,3. Установлено, что наибольшим уровнем МСА/ПА обладали рекомбинантные химозины: группа с МСА/ПА < ~1000 включает МФП Chy-max® Extra 2235 Powder, Chy-max® Extra 600 Liquid и Renifer® 1800; группа с ~1000 < МСА/ПА < 1400 включает Chy-max® M 1000, Maxiren® 1800 и Chy-max® Extra 2235 Powder; группа с МСА/ПА > 3500 включает МФП Chy-max® Supreme 1000. МФП животного происхождения имели более низкий в сравнении с рекомбинантными химозинами показатель МСА/ПА, который для разных марок МФП с разным соотношением (% химозина / % пепсина) составил: Naturen® Extra 220 (95/5) = 199,7 ± 8,0; СФ «Экстра» (90/10) = 122,1 ± 1,9; Kalase® 150 (80/20) = 115,1 ± 0,7; Naturen® Stamix (50/50) = 86,2 ± 0,2; ФС 10 «Пепсин говяжий» (10/90) = 38,7 ± 1,8. МФП микробного происхождения имели самый низкий уровень МСА/ПА среди трех типов изученных МФП. МСА/ПА для разных марок МФП микробного происхождения: Meito® Microbial Rennet = 36,35 ± 0,48; Marzyme® 2200 MT = 31,03 ± 0,13; Fromase® 2200 TL = 18,57 ± 0,13; Fromase® 750 XLG = 16,06 ± 0,49.

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.

Received 20.02.2022

Accepted in revised 14.03.2022

Accepted for publication 25.03.2022

© Myagkonosov D. S., Abramov D. V., Delitskaya I. N., Ovchinnikova E. G., 2022

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

Original scientific article

Open access

PROTEOLYTIC ACTIVITY OF MILK-CLOTTING ENZYMES OF DIFFERENT ORIGIN

Dmitriy S. Myagkonosov*, Dmitriy V. Abramov, Irina N. Delitskaya, Elena G. Ovchinnikova

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

KEY WORDS:

milk-clotting enzymes, milk-clotting activity, proteolytic activity

ABSTRACT

The ratio of the milk-clotting activity (MCA) and proteolytic activity (PA) was compared for milk-clotting enzyme preparations (MEP) based on recombinant chymosin, chymosin of animal origin and microbial origin. The MCA value was measured in the international milk-clotting units (IMCU), the PA value was determined by the Anson method on the substrate from hemoglobin at 30 °C and pH 5.3. It was found that recombinant chymosins had the highest level of MCA/PA: the group with MCA/PA < ~1000 includes MEPs Chy-max® Extra 2235 Powder, Chy-max® Extra 600 Liquid and Renifer® 1800; the group with ~1000 < MCA/PA < 1400 includes Chy-max® M 1000, Maxiren® 1800 and Chy-max® Extra 2235 Powder; the group with MCA/PA > 3500 includes MEP Chy-max® Supreme 1000. MEPs of animal origin had a lower indicator of MCA/PA compared to recombinant chymosins, which for different trademarks of MEPs with different ratios of %chymosin to %pepsin was equal to: Naturen® Extra 220 (95/5) = 199.7 ± 8.0; rennet SF "Extra" (90/10) = 122.1 ± 1.9; Kalase® 150 (80/20) = 115.1 ± 0.7; Naturen® Stamix (50/50) = 86.2 ± 0.2; rennet FS10 "Bovine pepsin" (10/90) = 38.7 ± 1.8. MEP of microbial origin had the lowest level of MCA/PA among all three types of MEPs under study. MCA/PA for different trademarks of MEPs of microbial origin was as follows: Meito® Microbial Rennet = 36.35 ± 0.48; Marzyme® 2200 MT = 31.03 ± 0.13; Fromase® 2200 TL = 18.57 ± 0.13; Fromase® 750 XLG = 16.06 ± 0.49.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-2019-0010 of the state assignment of the V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Молокосвертывающий фермент (МФ) является важным функционально-необходимым компонентом, который применяется для производства большинства групп сыров. Основная задача МФ — свертывание молока с образованием сгустка,

способного отдавать влагу. Действие МФ продолжается также после свертывания, как на стадии обработки сгустка в сыродельной ванне, так и на этапе созревания и хранения сыра.

Протеолитическая активность МФ выражается в двух формах. Первая — это специфическая молокосвертывающая

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мягконос Д. С., Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Овчинникова, Е. Г. (2022). Протеолитическая активность молокосвертывающих ферментов разного происхождения. *Пищевые системы*, 5(1), 47-54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-47-54>

FOR CITATION: Myagkonosov, D. S., Abramov, D. V., Delitskaya, I. N., Ovchinnikova, E. G. (2022). Proteolytic activity of milk-clotting enzymes of different origin. *Food systems*, 5(1), 47-54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-47-54>

активность (МСА), равная степени протеолиза в отношении расщепления связи Phe105-Met106 в молекуле каппа-казеина. МСА измеряется в единицах IMCU (International Milk-Clotting Units). Вторая форма — общая протеолитическая активность (ПА), равная степени неспецифического протеолиза в отношении расщепления любых пептидных связей в казеинах молока [1].

При производстве сыров следует ориентироваться на протеолитические свойства МФ, т. к. кроме активности на этапе свертывания молока, МФ, перешедший из молока в состав сыра, проявляет свою активность на стадии созревания и хранения. Поскольку при свертывании молока МФ вносят в пересчете на единицы МСА, критерием оценки неспецифической ПА фермента является не абсолютная величина ПА, а ее доля от МСА. Критерием, определяющим пригодность фермента для свертывания молока в сыроделии, является соотношение его молокосвертывающей активности (МСА) к общей протеолитической активности (ПА). Соотношение МСА/ПА выражает долю «полезной» активности фермента [2]. Повышение соотношения МСА/ПА у МФП дает следующие выгоды при производстве сыра:

- ❑ обеспечивается стабильно высокая скорость свертывания молока;
- ❑ повышается выход сыра (на 0,5–1,5%);
- ❑ устраняются пороки сыра, связанные с избыточным протеолизом (горький вкус);
- ❑ увеличивается срок хранения сыра.

В настоящее время не существует единой методики для оценки ПА МФ. В общем случае ПА МФ оценивается методом Ансона на субстрате из казеина по количеству остатков ароматических аминокислот (триптофан и тирозин), образующихся исследуемым МФ в единицу времени. Однако условия проведения измерений (рН, температура, время реакции и ионная сила раствора) у разных исследователей часто отличаются [3].

В частности, известно об использовании метода Ансона для оценки общей протеолитической активности МФ во множестве разных модификаций, в т. ч.:

- ❑ на субстрате из казеина в фосфатном буфере при величине рН 7,0 и температуре $t = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$, с оценкой количества пептидов, растворимых в 3,3%-м растворе ТХУ [4];
- ❑ на субстрате из казеина в фосфатном буфере при величине рН 6,5 и температуре $t = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$ с оценкой количества пептидов, растворимых в 6%-м растворе ТХУ [5];
- ❑ на субстрате из восстановленного сухого молока при величине рН 6,5 и температуре $t = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ с оценкой количества пептидов, растворимых в 12%-м растворе ТХУ [6];
- ❑ на субстрате из казеина в фосфатном буфере при величине рН 6,3 и температуре $t = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ с оценкой количества пептидов, растворимых в 3,3%-м растворе ТХУ [7];
- ❑ на субстрате из казеина в фосфатном буфере при величине рН 5,8 и температуре $t = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, с оценкой количества пептидов, растворимых в смеси из 0,8% ТХУ + 0,9% уксусной кислоты + 0,82% ацетата натрия [8];
- ❑ на субстрате из казеина при величине рН 5,5 и температуре $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, с оценкой количества пептидов, растворимых в 2,5%-м растворе ТХУ [9];
- ❑ на субстрате из казеина в ацетатном буфере при величине рН 5,2 и температуре $t = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$, с оценкой количества пептидов, растворимых в 7,5%-м растворе ТХУ [10];
- ❑ на субстрате из гемоглобина при величине рН 4,0 и температуре $t = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$, с оценкой количества пептидов, растворимых в 3,1%-м растворе ТХУ [11];
- ❑ на субстрате из казеина в 0,1 М глицин-HCl буфере при величине рН 3,0 и температуре $t = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, с оценкой количества пептидов, растворимых в 4,1%-м растворе ТХУ [12].

На основании анализа литературных источников для оценки ПА МФ была выбрана модификация метода Ансона по прописи, содержащейся в ГОСТ 34430–2018¹. В указанной методике гидролиз испытуемым ферментом проводят на субстрате из гемоглобина при величине рН 5,3 и температуре $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, с оценкой количества пептидов, растворимых в 2,5%-м растворе ТХУ. Достоинством выбранной модификации является сочетание факторов (субстрат, температура, рН, концентрация раствора ТХУ), позволяющее получить наиболее сравнимые показатели ПА для МФ разного происхождения (животного, микробного происхождения и рекомбинантного типа). Целью проведенных исследований было установление показателя удельной протеолитической активности, оцениваемой по показателю МСА/ПА, для молокосвертывающих ферментов разного состава от разных производителей, что необходимо для объективного сравнения данных МФ по уровню неспецифической ПА.

2. Материалы и методы

2.1 Материалы

Исследовали молокосвертывающие ферментные препараты (МФП) следующих марок:

Chy-max® Powder Extra 2235 NB, Chy-max® Supreme 1000, Chy-max® M 1000, Chy-max® Extra 600 Liquid, Naturen® Extra 220 NB, Naturen® Stamix 1150 (производитель Chr. Hansen A/S, Дания); Fromase® 2200 TL, Fromase® 750 XLG, Maxiren® 1800 (производитель DSM Food Specialties, Франция); Marzyme® 2200 MT (производитель Danisco France SAS, Франция); Meito® Microbial Rennet (производитель Meito Sangyo Co., LTD, Япония); Kalase® 150 (производитель CSK Food Enrichment B. V., Нидерланды); ФС 90 «Экстра», ФС 10 «Пепсин говяжий» (производитель ООО «Завод эндокринных ферментов», Россия); Renifer® 1800 (производитель PROQUIGA BIOTECH, SA, Испания).

Для определения протеолитической активности МФП использовали реактивы: гемоглобин из бычьей крови (производитель Sigma, США), трихлоруксусная кислота (х. ч.), L-тирозин с содержанием основного вещества $\geq 98\%$ («ХИММЕД», Россия), реактив Фолина-Чикелтау («Ленреактив», Россия).

2.2 Методы

2.2.1. Методы исследования свойств молокосвертывающих ферментов

Определение общей протеолитической активности проводилось методом Ансона на субстрате из гемоглобина, в прописи метода по ГОСТ 34430–2018², применительно к слабым протеазам (при рН 5,3).

2.2.2. Методы статистического анализа

Математическая обработка данных проводилась с применением программных пакетов Microsoft Excel и Statsoft Statistica (v.5.5). Экспериментальные данные были проанализированы при помощи однофакторного дисперсионного анализа с использованием процедуры парного сравнения Tukey при уровне статистической значимости $p = 0,05$ [13].

Определение протеолитической активности МФ проводили в двух повторностях.

3. Результаты и обсуждение

3.1 Молокосвертывающая и протеолитическая активность МФ разного происхождения

На основании данных, по уровню МСА и ПА исследованных марок МФ разного происхождения были рассчита-

¹ ГОСТ 34430–2018 Ферментные препараты для пищевой промышленности. Метод определения протеолитической активности. М.: Стандартинформ, 2018. — 12 с.

² Там же.

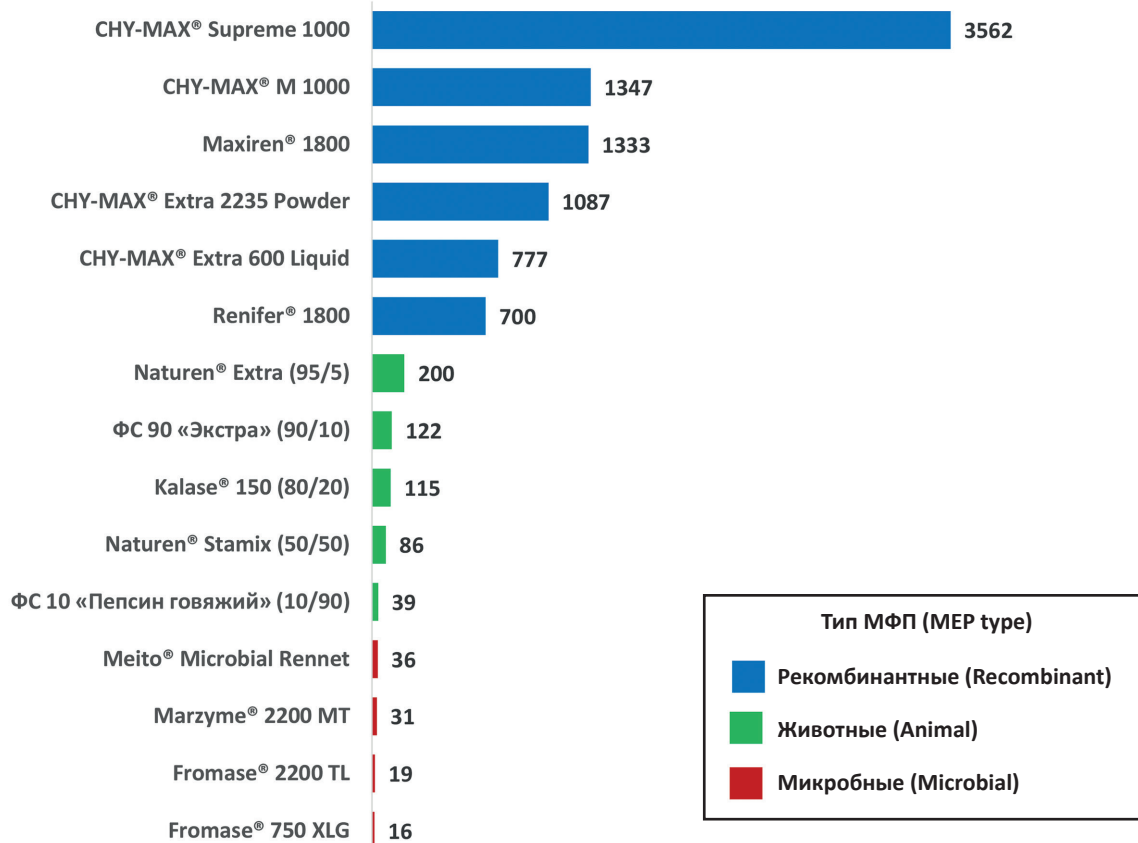


Рисунок 1. Соотношение МСА/ПА у МФП разного происхождения
Figure 1. MCA/PA ratio in MEPs of different origin

ны значения показателя МСА/ПА. Полученные результаты представлены на Рисунке 1.

Полученные в результате исследований данные по соотношению МСА/ПА для МФ разного происхождения совпадают с результатами оценки МСА/ПА, приводимыми фирмой Chr. Hansen A/S для МФП собственного производства [14].

На основании полученных данных, приведенных на Рисунке 1, видно, что МФ разного происхождения (животного, микробного происхождения или рекомбинантного типа) значительно отличаются по величине показателя МСА/ПА. Статистические показатели по уровню МСА/ПА для МФ разного типа представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Средние показатели МСА/ПА для МФ разного происхождения

Table 1. Mean values of MCA/PA for MEs of different origin

Тип МФ	Среднее соотношение МСА/ПА для МФ одного типа, IMCU/ед. ПА		
	Среднее	СКО	КоэффВар
Рекомбинантные	1468	1061	72%
Животные	112	59	52%
Микробные	26	10	38%

Примечание:

Среднее — среднее значение по выборке;

СКО — среднее квадратичное отклонение;

КоэффВар — коэффициент вариации (КоэффВар = СКО/Среднее).

Высокие значения коэффициента вариации (> 30%) свидетельствуют о существенных различиях по МСА/ПА между разными марками МФ одинакового типа (см. Таблицу 1). Для получения подробной характеристики о протеолитических свойствах разных марок МФ была проведена дополнительная статистическая обработка.

3.2 Молокоосвертывающая и протеолитическая активность рекомбинантных МФ

Результаты оценки удельной протеолитической активности МФ на основе рекомбинантных химозинов приведены в Таблице 2.

Таблица 2. Показатели МСА и ПА для рекомбинантных МФП
Table 2. MCA and PA values for recombinant MEPs

Марка МФП	Состав	Молокоосвертывающая активность (МА), номинальная, IMCU/г	Протеолитическая активность (ПА), ед. ПА/г	Соотношение МСА/ПА, IMCU/ед. ПА
Chy-max® Supreme 1000	Модифицированный химозин верблюда	912 *	0,26 ± 0,01	3562 ± 42 ^a
Chy-max® M 1000	Химозин верблюда	904 *	0,68 ± 0,09	1347 ± 179 ^b
Maxiren® 1800	Химозин теленка (вар. Б)	1800	1,36 ± 0,13	1333 ± 130 ^b
Chy-max® Extra 2235 Powder	Химозин теленка (вар. Б)	2235	2,06 ± 0,14	1087 ± 76 ^{bc}
Chy-max® Extra 600 Liquid	Химозин теленка (вар. Б)	554 *	0,71 ± 0,01	777 ± 3 ^c
Renifer® 1800	Химозин **	1800	2,59 ± 0,30	700 ± 81 ^c

Примечание:

Данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение» (n = 2).

^{a, b, c} данные внутри одного столбца, не имеющие одинаковых символов в надстрочных обозначениях, обладают статистически достоверными отличиями (p < 0,05, парное сравнение средних значений при помощи теста Tukey).

* Молокоосвертывающая активность МФП в жидкой форме выпуска пересчитана из номинальной активности в 1 см³ на номинальную активность в 1 г, исходя из измеренной плотности данных препаратов: Chy-max Extra 600 Liquid — 1,083 г/см³, Chy-max M 1000 — 1,107 г/см³, Chy-max Supreme — 1,096 г/см³.

** Тип химозина, содержащегося в препарате Renifer® 1800, неизвестен.

Сравнение средних значений МСА/ПА для МФП с помощью теста парных сравнений Tukey позволило установить, что исследованные МФП рекомбинантного типа подразделяются на три группы, статистически достоверно ($p < 0,05$) отличающиеся между собой по соотношению МСА/ПА:

- 1 группа (МСА/ПА $< \sim 1000$) включает Chy-max® Extra 2235 Powder, Chy-max® Extra 600 Liquid и Renifer® 1800;
- 2 группа ($\sim 1000 < \text{МСА/ПА} < 1400$) включает Chy-max® M 1000, Maxiren® 1800 и Chy-max® Extra 2235 Powder;
- 3 группа (МСА/ПА > 3500) включает единственный образец — Chy-max® Supreme 1000.

Главным фактором, определяющим показатель МСА/ПА для МФП, является содержащийся в нем вид фермента. МФП марок Maxiren и Chy-max Extra содержат в своем составе рекомбинантный химозин теленка генетического варианта Б (вероятно, так же и МФП Renifer, происхождение химозина в составе которого производителем не указано [15]). Рекомбинантные МФП на основе химозина теленка относятся к т. н. первому поколению рекомбинантных МФП [16]. Их массовый выпуск и использование были начаты с начала 1990-х годов, поэтому данные МФП среди прочих рекомбинантных химозинозидов отличаются наиболее низким показателем МСА/ПА.

Химозин верблюда, из которого состоит МФП Chy-max M, обладает большей специфичностью к каппа-казеину и вследствие этого большим показателем МСА/ПА, чем химозин теленка [3,17].

МФП Chy-max Supreme (Chr. Hansen A/S) содержит в своем составе уникальный фермент — химозин верблюда с модифицированной искусственным образом аминокислотной последовательностью. Данный фермент имеет повышенную специфичность в отношении каппа-казеина, большую, чем у химозина верблюда. Поэтому показатель МСА/ПА МФП Chy-max Supreme существенно выше, чем у всех прочих марок МФП рекомбинантного типа [18].

Полученные данные по МСА/ПА для разных типов рекомбинантных МФП несколько отличаются от данных, приводимых в научной литературе. Отсутствие статистически достоверных отличий по показателю МСА/ПА между МФП Chy-max M (химозин верблюда) и МФП Maxiren (химозин теленка вариант В) [16] вызывает вопросы, т. к. уровень ПА химозина теленка существенно выше, чем ПА химозина верблюда: в 7 раз, по данным Karreler et al [17], и в 2 раза, по данным, представленным компанией Chr. Hansen [14]. Также в результате наших исследований были получены различия по величине МСА/ПА для МФП Maxiren и МФП Chy-max Extra, которые формально имеют идентичный состав — рекомбинантный химозин теленка генетического варианта Б.

Причинами, влияющими на уровень МСА/ПА ферментных препаратов разных торговых марок, формально обладающих одинаковым составом, являются отличия в технологии производства данных МФП.

Компания Chr. Hansen A/S для изготовления МФП с торговой маркой Chy-max использует рекомбинантный штамм мицелиарного гриба *Aspergillus niger* var. *awamori*. Компания DSM Food Specialties получает МФП Maxiren с применением рекомбинантного штамма дрожжей *Kluyveromyces marxianus* var. *lactis*. Гриб *Aspergillus niger* выделяет наряду с целевым ферментом (химозином) большое количество белковых веществ, в т. ч. ферментов [16,19]. Получаемая от гриба *Aspergillus niger* ферментная смесь, содержащая химозин, требует тщательной очистки, в процессе которой клетки гриба удаляются центрифугированием и фильтрацией, а полученный фильтрат очищается с помощью хроматографии, концентрируется ультрафильтрацией и лиофильно высушивается [16,20]. В сравнении с *Aspergillus niger* дрожжи

Kluyveromyces marxianus продуцируют существенно меньшее количество примесных белков. Процесс очистки рекомбинантного химозина, выделяемого *Kluyveromyces marxianus*, включает прекращение ферментации путем добавления бензоата, подкисление экстракта до pH 2 за счет добавления серной кислоты, что приводит к активации прохимозина и инактивации иных протеаз, содержащихся в экстракте, фильтрацию для отделения дрожжевых клеток и концентрирование ферментного экстракта ультрафильтрацией [21].

В связи с тем, что при глубокой очистке часть фермента теряется в непрофильтрованном остатке, а часть инактивируется [22], в промышленности практикуется минимально-необходимая степень очистки. Чаще всего очистка массово выпускаемых ферментных препаратов ограничивается стадией ультрафильтрации. Только при особых требованиях к чистоте ферментного препарата используются дополнительные стадии очистки (ионообменная хроматография и гель-фильтрация) [23]. Представленные на рынке МФП Chy-max (Chr. Hansen A/S) и Maxiren (DSM Food Specialties SAS) выпускаются в разных градациях очистки [24]. Исследования состава рекомбинантных МФП торговой марки Chy-max методами жидкостной хроматографии и гель-электрофореза показали, что препарат Chy-max Extra в сухой форме выпуска имел меньшее количество примесей, чем препараты Chy-max M и Chy-max Plus в жидкой форме выпуска [25].

Указанные различия в используемых микроорганизмах-продуцентах, а также в технологии производства, имеют следствия в более высоком показателе МСА/ПА у МФ Maxiren® 1800 (сухая форма выпуска), чем у МФ Chy-max® Extra 2235 Powder (сухая форма выпуска) и Chy-max® Extra 600 Liquid (жидкая форма выпуска).

3.2 Молокосвертывающая и протеолитическая активность МФ животного происхождения

Статистические данные по уровню протеолитической активности МФ животного происхождения приведены в Таблице 3.

Таблица 3. Показатели МСА и ПА для МФП животного происхождения

Table 3. MCA and PA values for MEPs of animal origin

Марка МФП*	Молокосвертывающая активность (МА), номинальная, IMCU/г	Протеолитическая активность (ПА), ед. ПА/г	Соотношение МСА/ПА, IMCU/ед. ПА
Naturen® Extra 220 (95/5)	193 **	0,97±0,04	199,7±8,0 ^a
ФС 90 «Экстра» (90/10)	768 ***	6,29±0,10	122,1±1,9 ^b
Kalase® 150 (80/20)	136 **	1,18±0,01	115,1±0,7 ^b
Naturen® Stamix (50/50)	1150	13,34±0,03	86,2±0,2 ^c
ФС 10 «Пепсин говяжий» (10/90)	624 ***	16,14±0,73	38,7±1,8 ^d

Примечание:

Данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение» ($n = 2$).

^{a, b, c} данные внутри одного столбца, не имеющие одинаковых символов в надстрочных обозначениях, обладают статистически достоверными отличиями ($p < 0,05$, парное сравнение средних значений при помощи теста Tukey).

* В скобках указан состав препарата в форме «доля химозина, % / доля пепсина, %».

** Молокосвертывающая активность МФП в жидкой форме выпуска пересчитана из номинальной активности в 1 см³ на номинальную активность в 1 г, исходя из измеренной плотности данных препаратов: Naturen® Extra 220–1,134 г/см³, Kalase® 150–1,103 г/см³.

*** Приведена фактическая молокосвертывающая активность, определенная по ГОСТ ISO 11815.

Из данных, приведенных в Таблице 3, следует, что МФП животного происхождения на основе природного химозина телянка характеризуются существенно более низким соотношением МСА/ПА в сравнении с МФП на основе рекомбинантного химозина телянка (см. Таблицу 2).

Анализ приведенных в Таблице 3 данных методом парных сравнений Tukey показал, что исследованные МФП животного происхождения достоверно отличались ($p < 0,05$) по уровню МСА/ПА (кроме МФ марок СФ «Экстра» и Kalase® 150). Данный факт объясняется тем, что уровень протеолитической активности у МФ животного происхождения, а следовательно, и соотношение МСА/ПА у МФ животного происхождения зависят от содержания пепсина в ферментном препарате. Наряду с химозином (ЕС3.4.23.4), в препаратах СФ содержатся пепсины — пепсин А (ЕС3.4.23.1) и пепсин С (или гастринсин (ЕС3.4.23.3)), которые обладают существенно более высокой ПА в сравнении с химозином. Пепсины имеют меньшую удельную МСА (ед. МСА/г) и более высокую ПА (ед. ПА/г), чем химозин. Поэтому при линейном увеличении доли пепсина в препарате удельная ПА препарата (соотношение ПА/МСА) возрастает в геометрической прогрессии [19]. Установленная в результате наших исследований зависимость удельной ПА (ПА/МСА) МФП животного происхождения от содержания пепсина в составе препарата приведена на Рисунке 2.

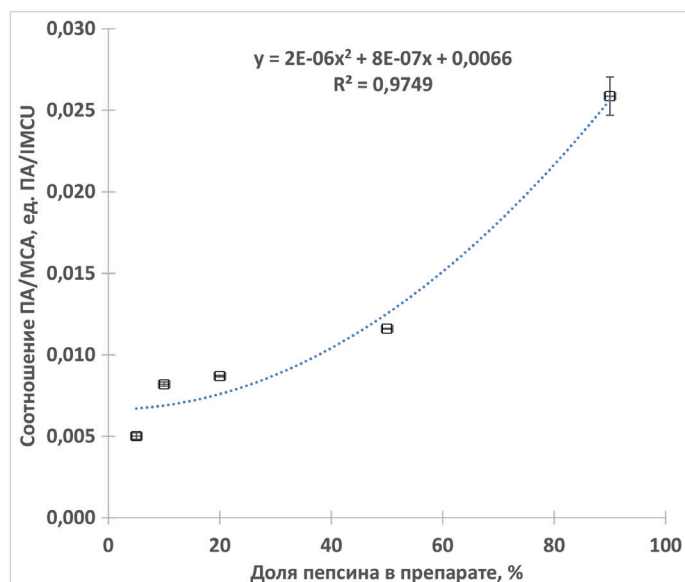


Рисунок 2. Зависимость удельной ПА (ПА/МСА) МФП животного происхождения от содержания пепсина в составе препарата

Figure 2. Dependence of the specific PA (PA/MCA) of MEPs of animal origin on the pepsin content in the composition of a preparation

Однако только лишь наличием пепсина в составе препаратов животного происхождения нельзя объяснить значительное отличие по протеолитической специфичности между МФП на основе телячьего химозина из природных источников и рекомбинантными МФП на основе телячьего химозина. Так, МФП Naturen® Extra, который состоит более чем на 95% из химозина, имеет соотношение МСА/ПА в ~5 раз более низкое, чем препарат Chu-max® Extra.

Кроме химозина В препараты сычужного фермента содержат значительное количество химозинов генетических вариантов А и С, которые обладают повышенным уровнем МСА в сравнении с химозином В [19,26]. В результате хроматографических исследований состава МФП было установлено, что в препаратах сычужного фермента торговых марок BioRen, Carlina и Naturen, номинально содержащих свыше 80% химозина, было обнаружено только ~50–60%

химозина В, а препараты рекомбинантного химозина (Chu-max Extra и Maxiren) на 100% состояли из химозина телянка генетического варианта В [6]. Можно предположить, что химозины А и С обладают более высокой протеолитической активностью, чем химозин В, что и является причиной более высокого уровня неспецифической ПА у МФП животного происхождения.

3.3 Молокозвертывающая и протеолитическая активность МФ микробного происхождения

Статистические данные по уровню протеолитической активности МФ микробного происхождения приведены в Таблице 4.

Таблица 4. Показатели МСА и ПА для МФП микробного происхождения

Table 4. MCA and PA values for MEPs of microbial origin

Марка МФП	Молокозвертывающая активность (МА), номинальная, IMCU/г	Протеолитическая активность (ПА), ед. ПА/г	Соотношение МСА/ПА, IMCU/ед. ПА
Meito® Microbial Rennet	3000	82,53 ± 1,08	36,35 ± 0,48 ^a
Marzyme® 2200 MT	2200	70,90 ± 0,30	31,03 ± 0,13 ^b
Fromase® 2200 TL	2200	118,48 ± 0,83	18,57 ± 0,13 ^c
Fromase® 750 XLG	636 *	39,61 ± 1,21	16,06 ± 0,49 ^d

Примечание:

Данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение» ($n = 2$).

^{a, b, c} данные внутри одного столбца, не имеющие одинаковых символов в надстрочных обозначениях, обладают статистически достоверными отличиями ($p < 0,05$, парное сравнение средних значений при помощи теста Tukey).

* Молокозвертывающая активность МФП в жидкой форме выпуска пересчитана из номинальной активности в 1 см³ на номинальную активность в 1 г, исходя из измеренной плотности данных препаратов: для Fromase® 750 XLG плотность равна 1,180 г/см³.

Анализ приведенных в Таблице 4 данных методом парных сравнений Tukey показывает, что МФ микробного происхождения изученных марок статистически достоверно различаются между собой по величине МСА/ПА. Причиной полученных различий между исследованными МФ микробного происхождения является разница в используемых штаммах-продуцентах и технологии очистки. При производстве исследованных марок МФ микробного происхождения их производителями было применено три разных подхода для снижения ПА и повышения соотношения МСА/ПА.

В случае МФП Fromase (DSM Food Specialties) для повышения показателя МСА/ПА была применена многоступенчатая очистка от посторонних примесей протеазы гриба *Rhizomucor miehei*, полученного из природного источника методом селекции [3]. Молокозвертывающая протеаза гриба *R. miehei* (ЕС3.4.23.23) обладает существенным недостатком — повышенной термостабильностью, что приводит к сохранению ее активности в молочной сыворотке с последующим протеолизом белков сыворотки. Для снижения термостабильности протеазы *R. miehei* используется ее окислительная модификация [27,28]. Однако подобное воздействие приводит не только к снижению термостабильности протеазы *R. miehei*, но и к уменьшению ее показателя МСА/ПА [29]. Вероятно, вследствие этого, более термостабильный МФП марки Fromase® 2200 TL имеет больший показатель МСА/ПА в сравнении с менее термостабильным МФП марки Fromase® 750 XLG.

МФП Marzyme (Danisco France SAS) обладает большим уровнем МСА/ПА в сравнении с МФП марки Fromase. Для

достижения такого результата были использованы методы генной инженерии: генетическая информация, отвечающая за синтез протеазы, обладающей МСА, была взята от гриба *Rhizomucor miehei* и внедрена в генный код гриба *Aspergillus oryzae* [30]. Полученный рекомбинантный штамм гриба *A. oryzae* в сравнении с грибом *R. miehei* продуцирует существенно меньшее количество нежелательных примесей, что упрощает очистку фермента и позволяет получить МФ с более высоким показателем МСА/ПА [31].

МФП Meito® Microbial Rennet (Meito Sangyo Co., Ltd) имеет самый высокий показатель МСА/ПА среди исследованных МФП микробного происхождения. Для получения столь высокого показателя МСА/ПА производителем был использован целый ряд технологических приемов. В отличие от других исследованных МФП микробного происхождения, данный препарат состоит из смеси протеаз двух видов грибов: *Rhizomucor miehei* и *Rhizomucor pusillus* [32]. Включение в состав препарата термолабильной протеазы *R. pusillus* [33] позволило снизить степень термоустойчивости препарата без необходимости окислительной модификации протеазы *R. miehei*, приводящей к снижению ее показателя МСА/ПА. Была проведена предварительная селекция штаммов-продуцентов *R. miehei* и *R. pusillus*, а также оптимизированы условия культивирования (температура, pH и состав питательного субстрата) с целью получения максимального выхода целевого фермента и снижения количества загрязняющих примесей [20,28]. Дополнительно была применена окислительная модификация протеазы *R. pusillus*, приводящая к повышению ее показателя МСА/ПА [34].

Полученные данные по соотношению МСА/ПА, приведенные в Таблице 4, показывают, что микробные МФП марок Meito и Marzyme по протеолитической специфичности находятся примерно на уровне МФ животного происхождения с содержанием 10% химозина и 90% говяжьего пепсина, а МФ марки Fromase имеют еще больший уровень неспецифической ПА.

3.4 Влияние ПА МФ разного происхождения на процесс производства и качество сыров

Влияние показателя МСА/ПА МФП на процесс обработки ствуха в сыродельной ванне и на динамику протеолиза в сырах было подтверждено исследованиями авторов данной статьи при испытаниях МФ разного происхождения в составе мягких [35], полутвердых сыров [36,37] и сыров с чеддеризацией и термомеханической обработкой сырной массы [38]. Было установлено, что при одинаковой дозе внесения МФ в сыродельную ванну, уровень МСА/ПА используемого МФ не оказывал статистически значимого влияния продолжительность стадий обработки зерна в ванне, физико-химические показатели получаемой сыворотки и свежих сыров. Различия в уровне МСА/ПА использованных МФ сказывались на стадии созревания и хранения сыров. Сыры произведенные с МФ имеющими высокий показатель МСА/ПА к концу срока созревания имели более плотную консистенцию, менее выраженный вкус и сохраняли свои кондиционные свойства на протяжении более длительного срока хранения, в сравнении с сырами, произведенными с МФ, имеющими низкий уровень МСА/ПА.

4. Заключение

Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод, что показатель МСА/ПА у группы МФ на основе рекомбинантных химозинов в среднем в 13 раз выше, чем в группе МФ животного происхождения, а у МФ животного происхождения показатель МСА/ПА в среднем в 4 раза выше, чем у МФ микробного происхождения (см. Таблицу 1). Теоретически такая разница в удельной величине неспецифической ПА должна привести к получению отличий в физико-химических и органолептических показателях сыров, изготовленных с МФП разного типа, а также к различиям в динамике изменения данных показателей в процессе созревания и хранения сыров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Langholm Jensen J., Mølgaard A., Navarro Poulsen J.-C., Harboe M. K., Simonsen J. B., Lorentzen A. M. et al. (2013). Camel and bovine chymosin: The relationship between their structures and cheese-making properties. *Acta Crystallographica Section D. Biological Crystallography*, 69(5), 901–913. <https://doi.org/10.1107/S0907444913003260>
- Guinee, T. P., Wilkinson, M. G. (1992). Rennet coagulation and coagulants in cheese manufacture. *Journal of Society of Dairy Technology*, 45(4), 94–10. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.1992.tb01791.x>
- Dekker, P. (2019). Dairy Enzymes. Chapter in a book: *Industrial Enzyme Applications*. (Ed. by Vogel A. and May O.), 1st Ed. — Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2019
- Abd El-Salam, B. A. E.-Y., Ibrahim, O. A. E.-H., El-Sayed, H. A. E.-R. (2017). Purification and characterization of milk clotting enzyme from artichoke (*Cynara cardunculus* L.) flowers as coagulant on white soft cheese. *International Journal of Dairy Science*, 12(4), 254–265. <https://doi.org/10.3923/ijds.2017.254.265>
- Kumar, A., Sharma, J., Mohanty, A. K., Grover, S., Batish, V. K. (2006). Purification and characterization of milk clotting enzyme from goat (*Capra hircus*). *Comparative Biochemistry and Physiology — B Biochemistry and Molecular Biology*, 145(1), 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2006.06.010>
- Jacob, M. Milchgerinnungsenzyme verschiedener herkunft und ihr einfluss auf käseausbeute und käsequalität. Dissertation. Dresden: Technische Universität Dresden., 2011. Электронный ресурс: <http://d-nb.info/1067190643/34> Дата обращения 28.02.2022
- Vishwanatha, K. S., Appu Rao, A. G., Singh, S. A. (2010). Production and characterization of a milk-clotting enzyme from *Aspergillus oryzae* MTCC5341. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(6), 1849–1859. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2197-z>
- Yuqiu, L., Tan, H., Da, L., Zhoulin, L., Yanping, C., Yuanyuan, J. et al. (2015). Screening and Characterization of a Mutant Fungal Aspartic Proteinase from *Mucor pusillus*. *The Open Biotechnology Journal*, 9, 119–126. <http://doi.org/10.2174/1874070701509010119>
- Shamtysan, M., Dmitriyeva, T., Kolesnikov, B., Denisova, N. (2014). Novel milk-clotting enzyme produced by *Coprinus lagopides* basidial mushroom. *LWT — Food Science and Technology*, 58(2), 343–347. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.009>
- Zikiou, A., Zidoune, M.N. (2019). Enzymatic extract from flowers of Algerian spontaneous *Cynara cardunculus*: Milk-clotting properties and use in the manufacture of a Camembert-type cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 72(1), 89–99. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12563>
- Brutti, C. B., Pardo, M. F., Caffini, N. O., Natalucci, C. L. (2012). *Onopordum acanthium* L. (Asteraceae) flowers as coagulating agent for cheese-making. *LWT — Food Science and Technology*, 45(2), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.001>
- Kobayashi, H., Kusakabe, I., Murakami, K. (1983). Purification and Characterization of Two Milk-clotting Enzymes from *Irpex lacteus*. *Agricultural and Biological Chemistry*, 47(3), 551–558. <https://doi.org/10.1080/00021369.1983.10865677>
- Montgomery D. C. (2013). Design and analysis of experiments. 8th Ed. Wiley, 2013
- Working together to produce more cheese from milk. Электронный ресурс: <http://sdt-static.s3.amazonaws.com/media/uploads/2019/05/13/1CHR%20HANSEN190508%20SDT%20Presentation%20CHR%20Hansen.pdf> Дата обращения 28.02.2022
- Fermentation Chymosin: RENIFER Электронный ресурс: <http://proquiga.es/en/feed-additives/rennet-coagulants/chymosin/gmx-niv39.htm> Дата обращения 28.02.2022
- Harboe, M., Hubert, L., Van den Brink, H. La chymosine produite par fermentation. Chapter in book: *Présures et coagulants de substitution. Comment faire le bon choix?* (Ed. by J.-C. Collin). Editions Quae. 2015
- Kappeler, S. R., van der Brink, H. J. M., Rahbek-Nielsen, H., Farah, Z., Puhhan, Z., Hansen, E.B. et al. (2006). Characterization of recombinant camel chymosin reveals superior properties for the coagulation of bovine and camel milk. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 342(2), 647–654. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2006.02.014>
- HA-LA BIOTEC. CHY-MAX® SUPREME — A PRODUÇÃO DE QUEIJO EM UM NOVO PATAMAR. Электронный ресурс: http://halabiotech.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Ha-La_Biotec_147.pdf Дата обращения 28.02.2022

19. Harboe, M., Broe, M. L. Qvist, K. B. (2010). The Production, Action and Application of Rennet and Coagulants. Chapter in a book: Technology of cheesemaking. (ed. Law B. A., Tamime A. Y.), 2nd Ed. Chichester: Blackwell Publishing Ltd., 2010
20. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2011). Recent advances in milk clotting enzymes. *International Journal of Dairy Technology*, 64(1), 14–33. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00633.x>
21. Roller, S., Goodenough, P. W. (2012). Food enzymes. Chapter in book: Genetic Modification in the Food Industry. A Strategy for Food Quality Improvement (Ed. by S. Roller, S. Harlander). Springer. 2012
22. Preetha, S., Boopathy, R. (1997). Purification and characterization of a milk-clotting protease from *Rhizomucor miehei*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 13(5), 573–578. <http://doi.org/10.1023/A:1018525711573>
23. PHYSIOLOGY AND MAINTENANCE — Vol. II — Industrial Use of Enzymes — Matti Leisola, Jouni Jokela, Ossi Pastinen, Ossi Turunen, Hans E. Schoemaker. Электронный ресурс: <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C03/E6-54-02-10.pdf> Дата обращения 28.02.2022
24. Yegin, S., Dekker, P. (2013). Progress in the field of aspartic proteinases in cheese manufacturing: structures, functions, catalytic mechanism, inhibition, and engineering. *Dairy Science and Technology*, 93(6), 565–594. <https://doi.org/10.1007/s13594-013-0137-2>
25. Nestorovski, T., Velkoska-Markovska, L., Sbrinovska, S., Miskoska-Milevska, E., Petanovska-Ilievska, B., Popovski, Z.T. (2019). Different Approaches in Analyzing Chymosin Purity. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences*, 73(3), 24–29
26. Andrén, A. (2011). Cheese: rennets and coagulants. *Encyclopedia of dairy science*. Pp. 574–578. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-374407-4.00069-8>
27. Moschopoulou E. Microbial Milk Coagulants. Chapter 11 in book: Microbial Enzyme Technology in Food Applications (Ed. by R. C. Ray and C. M. Rosell). Boca Raton. CRC Press. 2017
28. Garg, S. K., Johri, B. N. (1994). Rennet: current trends and future research. *Food Reviews International*, 10(3), 313–355. <https://doi.org/10.1080/87559129409541005>
29. Smith, J. L., Billings, G. E., Yada, R. Y. (1991). Chemical modification of amino groups in murex miehei aspartyl proteinase, porcine pepsin, and chymosin. I. Structure and function. *Agricultural and Biological Chemistry*, 55(8), 2009–2016. <https://doi.org/10.1080/00021369.1991.10870915>
30. Garcia, H. S., Lopez-Hernandez, A., Hill, C. G. (2017). Enzyme Technology — Dairy Industry Applications. *Comprehensive Biotechnology* (Ed. Moo-Young M.) 3rd Ed. Pergamon. 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00005-2>
31. Trono, D. (2019). Recombinant Enzymes in the Food and Pharmaceutical Industries. Chapter in a book: Advances in Enzyme Technology. (Ed. by Singh R. S., Singhanian R. R., Pandey A., Larroche C.). Elsevier B. V. 2019
32. Meito Microbial Rennet (MR) from *Rhizomucor pusillus* Lindt / *Rhizomucor miehei* Mucorpepsin (milk-clotting enzyme) EC3.4.23.23 Электронный ресурс: <http://www.meito-sangyo.co.jp/kaseihin/rennet/mr.html> Дата обращения 28.02.2022
33. Thunell, R. K., Duersch, J. W., Ernstrom, C. A. (1979). Thermal inactivation of residual milk clotting enzymes in whey. *Journal of Dairy Science*, 62(3), 373–377. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83254-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83254-3)
34. Higashi, T., Kobayashi Y., Iwasaki S. (1982). Microbial rennet having increased milk coagulating activity and method and method for production thereof. US Patent US4530906A. Электронный ресурс: <https://patents.google.com/patent/US4530906A/en> Дата обращения 28.02.2022
35. Мягконов Д. С., Смыков И. Т., Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Овчинникова Е. Г. (2021). Влияние молокосвертывающих ферментов животного и микробного происхождения на качество и срок хранения мягких сыров. *Пищевые системы*, 4(4), 286–293. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-286-293>
36. Мягконов Д. С., Мордвинова В. А., Абрамов Д. В., Овчинникова Е. Г., Муничева Т. Э. (2020). Технологические свойства молокосвертывающих ферментов разного происхождения. Часть I. Влияние вида МФП на процессы в сыродельной ванне. *Сыроделье и маслоделие*, 3, 16–19. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2020-3-16-19>
37. Мягконов Д. С., Мордвинова В. А., Абрамов Д. В., Овчинникова Е. Г., Муничева Т. Э. (2020). Технологические свойства молокосвертывающих ферментов разного происхождения. Часть II. Влияние вида используемого МФП на процессы протеолиза при созревании сыров. *Сыроделье и маслоделие*, 5, 10–13. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2020-5-10-13>
38. Myagkonosov, D. S., Mordvinova, V. A., Delitskaya, I. N., Abramov, D. V., Ovchinnikova E. G. (2020). The influence of milk-clotting enzymes on the functional properties of pizza-cheeses. *Food Systems*, 3(3), 42–50. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-3-42-50>

REFERENCES

1. Langholm Jensen J., Mølgaard A., Navarro Poulsen J.-C., Harboe M. K., Simonsen J. B., Lorentzen A. M. et al. (2013). Camel and bovine chymosin: The relationship between their structures and cheese-making properties. *Acta Crystallographica Section D. Biological Crystallography*, 69(5), 901–913. <https://doi.org/10.1107/S0907444913003260>
2. Guinee, T. P., Wilkinson, M. G. (1992). Rennet coagulation and coagulants in cheese manufacture. *Journal of Society of Dairy Technology*, 45(4), 94–10. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.1992.tb01791.x>
3. Dekker, P. (2019). Dairy Enzymes. Chapter in a book: Industrial Enzyme Applications. (Ed. by Vogel A. and May O.), 1st Ed. — Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2019
4. Abd El-Salam, B. A. E.-Y., Ibrahim, O. A. E.-H., El-Sayed, H. A. E.-R. (2017). Purification and characterization of milk clotting enzyme from artichoke (*Cynara cardunculus* L.) flowers as coagulant on white soft cheese. *International Journal of Dairy Science*, 12(4), 254–265. <https://doi.org/10.3923/ijds.2017.254.265>
5. Kumar, A., Sharma, J., Mohanty, A. K., Grover, S., Batish, V. K. (2006). Purification and characterization of milk clotting enzyme from goat (*Capra hircus*). *Comparative Biochemistry and Physiology — B Biochemistry and Molecular Biology*, 145(1), 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2006.06.010>
6. Jacob, M. Milcherinnungsenzyme verschiedener herkunft und ihr einfluss auf käseausbeute und käsequalität. Dissertation. Dresden: Technische Universität Dresden., 2011. Retrieved from <http://d-nb.info/1067190643/34> Accessed February 28, 2022
7. Vishwanatha, K. S., Appu Rao, A. G., Singh, S. A. (2010). Production and characterization of a milk-clotting enzyme from *Aspergillus oryzae* MTCC5341. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(6), 1849–1859. <https://dx.doi.org/10.1007/s00253-009-2197-z>
8. Yuqiu, L., Tan, H., Da, L., Zhoulin, L., Yanping, C., Yuan, J. et al. (2015). Screening and Characterization of a Mutant Fungal Aspartic Proteinase from *Mucor pusillus*. *The Open Biotechnology Journal*, 9, 119–126. <http://doi.org/10.2174/1874070701509010119>
9. Shamtysan, M., Dmitriyeva, T., Kolesnikov, B., Denisova, N. (2014). Novel milk-clotting enzyme produced by *Coprinus lagopides* basidial mushroom. *LWT — Food Science and Technology*, 58(2), 343–347. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.009>
10. Zikiou, A., Zidoune, M. N. (2019). Enzymatic extract from flowers of Algerian spontaneous *Cynara cardunculus*: Milk-clotting properties and use in the manufacture of a Camembert-type cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 72(1), 89–99. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12563>
11. Brutti, C. B., Pardo, M. F., Caffini, N. O., Natalucci, C. L. (2012). *Onopordum acanthium* L. (Asteraceae) flowers as coagulating agent for cheesemaking. *LWT — Food Science and Technology*, 45(2), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.001>
12. Kobayashi, H., Kusakabe, I., Murakami, K. (1983). Purification and Characterization of Two Milk-clotting Enzymes from *Irpex lacteus*. *Agricultural and Biological Chemistry*, 47(3), 551–558. <https://doi.org/10.1080/0021369.1983.10865677>
13. Montgomery D. C. (2013). Design and analysis of experiments. 8th Ed. Wiley., 2013
14. 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 February 28, 2022
15. Fermentation Chymosin: RENIFER Retrieved from <https://proquiga.es/en/feed-additives/rennet-coagulants/chymosin/gmx-niv39.htm> Accessed February 28, 2022
16. Harboe, M., Hubert, L., Van den Brink, H. La chymosine produite par fermentation. Chapter in book: Présures et coagulants de substitution. Comment faire le bon choix? (Ed. by J.-C. Collin). Editions Quae. 2015
17. Kappeler, S. R., van der Brink, H. J. M., Rahbek-Nielsen, H., Farah, Z., Puhan, Z., Hansen, E. B. et al. (2006). Characterization of recombinant camel chymosin reveals superior properties for the coagulation of bovine and camel milk. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 342, 647–654. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2006.02.014>
18. 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 February 28, 2022
19. Harboe, M., Broe, M. L. Qvist, K. B. (2010). The Production, Action and Application of Rennet and Coagulants. Chapter in a book: Technology of cheesemaking. (ed. Law B. A., Tamime A. Y.), 2nd Ed. Chichester: Blackwell Publishing Ltd., 2010
20. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2011). Recent advances in milk clotting enzymes. *International Journal of Dairy Technology*, 64(1), 14–33. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00633.x>
21. Roller, S., Goodenough, P. W. (2012). Food enzymes. Chapter in book: Genetic Modification in the Food Industry. A Strategy for Food Quality Improvement (Ed. by S. Roller, S. Harlander). Springer. 2012
22. Preetha, S., Boopathy, R. (1997). Purification and characterization of a milk-clotting protease from *Rhizomucor miehei*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 13(5), 573–578. <http://doi.org/10.1023/A:1018525711573>
23. PHYSIOLOGY AND MAINTENANCE — Vol. II — Industrial Use of Enzymes — Matti Leisola, Jouni Jokela, Ossi Pastinen, Ossi Turunen, Hans E. Schoemaker. Retrieved from <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C03/E6-54-02-10.pdf> Accessed February 28, 2022
24. Yegin, S., Dekker, P. (2013). Progress in the field of aspartic proteinases in cheese manufacturing: structures, functions, catalytic mechanism,

- inhibition, and engineering. *Dairy Science and Technology*, 93(6), 565–594. <https://doi.org/10.1007/s13594-013-0137-2>
25. Nestorovski, T., Velkoska-Markovska, L., Sribinova, S., Miskoska-Milevska, E., Petanovska-Ilievska, B., Popovski, Z.T. (2019). Different Approaches in Analyzing Chymosin Purity. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences*, 73(3), 24–29
 26. Andrén, A. (2011). Cheese: rennets and coagulants. *Encyclopedia of dairy science*. Pp. 574–578. <https://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-374407-4.00069-8>
 27. Moschopoulou E. Microbial Milk Coagulants. Chapter 11 in book: *Microbial Enzyme Technology in Food Applications* (Ed. by R. C. Ray and C. M. Rosell). Boca Raton. CRC Press. 2017
 28. Garg, S. K., Johri, B. N. (1994). Rennet: current trends and future research. *Food Reviews International*, 10(3), 313–355. <https://doi.org/10.1080/87559129409541005>
 29. Smith, J. L., Billings, G. E., Yada, R. Y. (1991). Chemical modification of amino groups in mucor miehei aspartyl proteinase, porcine pepsin, and chymosin. I. Structure and function. *Agricultural and Biological Chemistry*, 55(8), 2009–2016. <https://doi.org/10.1080/00021369.1991.10870915>
 30. Garcia, H. S., Lopez-Hernandez, A., Hill, C. G. (2017). Enzyme Technology — Dairy Industry Applications. *Comprehensive Biotechnology* (Ed. Moo-Young M.) 3rd Ed. Pergamon. 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00005-2>
 31. Trono, D. (2019). Recombinant Enzymes in the Food and Pharmaceutical Industries. Chapter in a book: *Advances in Enzyme Technology*. (Ed. by Singh R. S., Singhanian R. R., Pandey A., Larroche C.). Elsevier B. V. 2019
 32. Meito Microbial Rennet (MR) from Rhizomucor pusillus Lindt / Rhizomucor miehei Mucorpepsin (milk-clotting enzyme) EC3.4.23.23 Retrieved from <http://www.meito-sangyo.co.jp/kaseihin/rennet/mr.html> Accessed February 28, 2022
 33. Thunell, R. K., Duersch, J. W., Ernstrom, C. A. (1979). Thermal inactivation of residual milk clotting enzymes in whey. *Journal of Dairy Science*, 62(3), 373–377. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83254-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83254-3)
 34. Higashi, T., Kobayashi Y., Iwasaki S. (1982). Microbial rennet having increased milk coagulating activity and method and method for production thereof. US Patent US4530906A. Retrieved from <http://patents.google.com/patent/US4530906A/en> Accessed February 28, 2022
 35. Myagkonosov, D. S., Smykov, I. T., Abramov, D. V., Delitskaya, I. N., Ovchinnikova, E. G. (2021). Influence of milk-clotting enzymes of animal and microbial origin on the quality and shelf life of soft cheeses. *Food Systems*, 4(4), 286–293. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-286-293> (In Russian)
 36. Myagkonosov, D. S., Mordvinova V. A., Abramov, D. V., Ovchinnikova E. G., Municheva T. E. (2020). Technological properties of milk clotting enzymes of different origin. Part I. The effect of the type of used milk clotting enzyme on processes in a cheesemaking bath. *Cheesemaking and Buttermaking*, 3, 16–19. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2020-3-16-19> (In Russian)
 37. Myagkonosov D. S., Mordvinova V. A., Abramov D. V., Ovchinnikova E. G., Municheva T. E. (2020). Technological properties of milk clotting enzymes of different origin. Part II. Influence of the type of milk clotting enzyme used on proteolysis processes during cheese ripening. *Cheesemaking and Buttermaking*, 5, 10–13. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2020-5-10-13> (In Russian)
 38. Myagkonosov, D. S., Mordvinova, V. A., Delitskaya, I.N., Abramov, D. V., Ovchinnikova E. G. (2020). The influence of milk-clotting enzymes on the functional properties of pizza-cheeses. *Food Systems*, 3(3), 42–50. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-3-42-50>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
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 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 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 Овчинникова Елена Григорьевна — научный сотрудник, отдел биохимии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-48532-98-1-94 E-mail: e.ovchinnikova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4891-4330	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 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 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 Elena G. Ovchinnikova, Researcher, Department of Biochemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 152613, Yaroslavl Region, Uglich, Krasnoarmeysky Boulevard, 19. Tel.: +7-48532-98-1-94 E-mail: e.ovchinnikova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4891-4330
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/10.21323/2618-9771-2022-5-1-55-63>

Поступила 07.02.2022

Поступила после рецензирования 12.03.2022

Принята в печать 25.03.2022

© Ивашковский С. Н., Каспарян А. А., 2022



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

Научная статья

Open access

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ СТАВОК ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ В РОССИИ И В США

Ивашковский С. Н.¹, Каспарян А. А.^{1,2*}

¹ Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации, Москва, Россия

² Эллиник Институт Промотинг Европиан Синерджис, Афины, Греция

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

гендерные различия, дифференциация ставок заработной платы, квалификация работников, образование, рынок труда

АННОТАЦИЯ

Целью данного исследования является сравнительный анализ факторов, влияющих на дифференциацию ставок заработной платы в России и в США. Информационной базой для исследования послужили статистические и аналитические материалы, приведенные на официальных сайтах Российской Федерации и США. В статье представлен обширный анализ уровней заработной платы в зависимости от профессиональной подготовки работников. Опираясь на статистические данные, авторы обосновывают, почему в России и в США заработная плата работников с высшим профессиональным образованием существенно выше заработной платы работников со средним образованием, не говоря о работниках, не имеющих среднего образования. Большое внимание уделено рассмотрению дифференциации уровней заработной платы с точки зрения вида экономической деятельности. Показано, что в России и США, несмотря на существенные различия в структуре экономики и экономических потенциалах, наиболее высокие заработки в добывающих отраслях. С другой стороны, заработные платы в легкой и пищевой промышленности, а также в сельском хозяйстве в России и в США составляют соответственно примерно 20 и 33% от вышеупомянутой отрасли. В статье рассматривается также дифференциация заработной платы в зависимости от расовых характеристик и гендерных различий. Приводя ряд фактических данных по России и США, авторы показывают, что такая дифференциация в XXI веке должна как с научной, так и с социальной точек зрения квалифицироваться в терминах несовершенства рынка труда. Подробно анализируется и региональный аспект различия заработной платы в обеих странах. Объясняется, почему в США региональный фактор на размер средней заработной платы, в отличие от России, почти не влияет. Делается вывод о том, что наиболее эффективным механизмом регулирования уровней заработной платы является конкуренция на рынке труда, которая в основу дифференциации заработной платы ставит квалификацию, навыки и опыт, работников, а также условия труда.

Received 07.02.2022

Accepted in revised 12.03.2022

Accepted for publication 25.03.2022

© Ivashkovski S. N., Kasparian A. A., 2022

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

Original scientific article

Open access

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DIFFERENTIATION OF WAGE RATES IN RUSSIA AND IN THE UNITED STATES

Ivashkovski S. N.¹, Kasparian* A. A.^{1,2}

¹ Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation, Moscow, Russia

² Hellenic Institute Promoting European Synergies, Athens, Greece

KEY WORDS:

gender differences, differentiation of wage rates, qualifications of employees, education, labor market

ABSTRACT

The purpose of this study is a comparative analysis of the factors affecting the differentiation of wage rates in Russia and the United States. The information base for the study was statistical and analytical materials given on the official websites of the Russian Federation and the United States. The article presents an extensive analysis of the wage levels depending on the professional training of employees. Based on statistical data, the authors substantiate why in Russia and the United States the wages of employees with higher professional education are significantly higher than the wages of employees with secondary education, not to mention employees without secondary education. Much attention is paid to the consideration of the differentiation of wage levels with respect to the type of the economic activity. It is shown that in Russia and the United States, despite significant differences in the structure of the economy and economic potentials, the highest earnings prevail in the extractive industries, primarily in the fuel and energy complex. On the other hand, wages in the light and food industries, as well as in agriculture in Russia and the United States are about 20 and 33% of the above-mentioned industries, respectively. The article also examines the differentiation of wages in relation to racial characteristics and gender differences. Citing a number of factual data from Russia and the United States, the authors show that such differentiation in the 21st century should be qualified in terms of labor market imperfections from both scientific and social points of view. The regional aspect of the wage difference in both countries is also analyzed in detail. It is explained why the regional factor has almost no effect on the size of the average wage in the United States contrary to Russia. It is concluded that the most effective mechanism for regulating wage levels is competition in the labor market, which puts the qualifications, skills and experience of employees, as well as working conditions, as the basis for wage differentiation.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ивашковский, С. Н., Каспарян, А. А. (2022). Сравнительный анализ дифференциации ставок заработной платы в России и в США. *Пищевые системы*, 5(1), 55-63. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-55-63>

FOR CITATION: Ivashkovski, S. N., Kasparian, A. A. (2022). Comparative analysis of the differentiation of wage rates in Russia and in the United States. *Food systems*, 5(1), 55-63. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-55-63>

1. Введение

Для большинства населения заработная плата является основным источником дохода. Так, в соответствии с данными Федеральной службы статистики, доля заработной платы составляет более 60% в структуре денежных доходов населения России, в 2014 г. она достигала 65,8% [1]. Это характерно и для большинства развитых стран.

Размер заработной платы сильно дифференцируется в зависимости от разных причин, в наиболее развитых системах оплаты труда учитывается до сотни условий. Поэтому понимание этих факторов важно как для наемных работников, так и для предпринимателей, планирующих использовать наемную рабочую силу.

Экономическая теория исходит из положения о том, что товаром становятся не только продукты труда, но и рабочая сила человека. В результате возникает один из видов рынка ресурсов — рынок рабочей силы, или рынок труда [2]. Отличительной чертой рынка труда является присутствие в нем институтов (профсоюзов, корпораций, государства), без учета которых невозможен анализ спроса и предложения. При этом нужно понимать, что на рынке труда продается и покупается не сам труд, а услуги труда, так как труд неотделим от человека — носителя рабочей силы.

Важно также иметь в виду, что заработная плата оказывает существенное влияние на потребительский спрос, а следовательно, и на цены потребительских товаров, так как является основным источником доходов покупателей. Рост реального уровня заработной платы является источником повышения производительности труда и спроса на факторы производства, а следовательно, экономического роста [3].

Признаки рынка труда формировались длительно: эта система экономических отношений возникла в древнем мире, на что указывают многие исторические факты. О найме рабочих говорится в древних юридических кодексах Хаммурапи и Ману. Современный рынок труда возник со становлением промышленного предпринимательства, который привел к формированию двух классов — предпринимателей и наемных работников [2].

При наличии в экономике всего одного вида труда и одного вида работ конкуренция привела бы к единой ставке заработной платы для всех рабочих. На практике мы видим дифференциацию оплаты труда и различия в ставках по следующим причинам: 1) работники различаются по способностям, уровню подготовки и в результате попадают в неконкурирующие профессиональные группы; 2) виды работ различаются своей привлекательностью, неденежные компоненты заработной платы тоже различны; 3) рынки труда характеризуются несовершенной конкуренцией [4].

Размер заработной платы различается в зависимости от квалификации, качества труда, профессиональной подготовки [5]. Труд квалифицированного специалиста будет оплачиваться выше, так как включает в себя затраты на обучение и зачастую более производителен. У профессий, не требующих специальной подготовки, ставка заработной платы ниже, а эластичность предложения трудовых услуг выше, так как контингент продавцов не ограничен необходимостью получения специальной подготовки. В результате для рынка труда характерно наличие неконкурирующих друг с другом групп работников.

Различные виды работ могут быть более или менее привлекательными для человека — значит, заработная плата должна стимулировать выполнение тяжелых, опасных для здоровья, но необходимых для общества работ. Дифференциация заработной платы, вызванная необходимостью компенсировать нематериальные различия в характере труда,

называется уравнивающими или компенсационными различиями. Так, бурильщик, работающий в условиях вечной мерзлоты, будет получать больше по сравнению с бурильщиком, работающим в более комфортных условиях.

В характере труда и размерах заработков существуют различия, которые нельзя отнести к уравнивающим — они связаны с неодинаковыми способностями людей. В доходах особо талантливых специалистов содержится элемент ренты.

Наличие безработицы говорит о том, что в экономике недостаточный совокупный спрос на товарных рынках, в результате чего предприниматели вынуждены сокращать производство и рабочую силу. Правительство и Центральный банк могут влиять на уровень безработицы, проводя либеральную стимулирующую налогово-бюджетную и денежно-кредитную политику. В этом случае увеличение совокупного спроса приведет к росту производства и занятости. Однако при достижении полной занятости увеличение совокупного спроса обернется чистой инфляцией, и реальная заработная плата работников будет ниже той, которую они ожидали, нанимаясь на работу, из-за роста общего уровня цен. Это делает рабочую силу дешевле, хотя и снизит уровень безработицы на какой-то период времени. В случае индексации заработных плат и других видов доходов работодатели вынуждены будут уволить часть рабочей силы, так что в долгосрочном периоде безработица снова вырастет, но уже при более высоком уровне цен. В экономике будет развиваться явление, получившее название стагфляции — сочетание безработицы и инфляции [6].

По мнению представителей неоклассической школы, рынок труда настолько зарегулирован, что перестал выполнять свои функции регулятора спроса и предложения рабочей силы. Ему присуще состояние хронического неравновесия а также устойчивая безработица и слабое повышение эффективности производства [7].

На выбор профессии выпускниками школ в огромной степени влияет возможность дальнейшего трудоустройства на места с высокими уровнями оплаты труда. Часто представления об уровне заработной платы формируются при помощи средств массовой информации. В общественном мнении также существует суждение о разных возможностях трудоустройства в России и в США.

Целью данного исследования было проведение сравнительного анализа факторов, влияющих на дифференциацию ставок заработной платы в России и в США.

2. Материалы и методы

Информационной базой для исследования послужили статистические и аналитические материалы, приведенные на официальных сайтах Федеральной службы государственной статистики, Федерального бюро статистики труда США, а также статистические данные Организации экономического сотрудничества и развития. Статистический анализ данных проведен с помощью Excel 2013. Правовая база представлена нормативными правовыми актами Российской Федерации.

3. Результаты и обсуждение

Решающим фактором, который влияет на зарплату является предыдущий опыт работы. Уровень образования важен лишь для 41% работодателей. В большей степени работодатели рассматривают знание иностранных языков — этот навык имеет значение для 56%, так как он позволяет оценивать уровень образования. По мнению экспертов агентства «Контакт», востребованным на рынке труда кандидата делают в первую очередь его накопленный опыт и умения, его

возможность привнести в компанию новые идеи из других индустрий, в которых он работал ранее [8] (Рисунок 1).

Минимальный размер оплаты труда оказывает очень сильное влияние как на уровень жизни людей, так и на развитие экономики страны. Всемирный банк рекомендует установить значение минимальной заработной платы в развивающихся странах не выше 40% [9]. В совместном отчете МОТ, ОЭСР, МВФ и Всемирного банка 2012 года сказано, что МРОТ должен быть не ниже 30% и не выше 40% от медианного значения заработной платы в стране, т. к. МРОТ больше данного значения усложнит трудоустройство. Установление МРОТ ниже рекомендованного уровня ослабит спрос и спровоцирует рост бедности [10]. В 2019 году медианная заработная плата составила 30458 рублей [11], а МРОТ — 11 280 рублей [12]. Таким образом, минимальный размер оплаты труда составлял 37% от медианного значения. В странах Евросоюза наибольшие значения данного показателя представлено в Люксембурге (€2 142), Ирландии (€1 707) и Нидерландах (€1 654) [13]. В Соединенных Штатах

минимальная заработная плата при 8-часовом рабочем дне составляет 1 276 \$ [14].

Влияние уровня образования на заработную плату подтверждается статистическими данными. Был проведен сравнительный анализ статистических данных России и США. Согласно результатам исследования Росстата, отмечается влияние уровня образования на размер заработной платы [15]. В среднем, по итогам обследования групп занятий, заработная плата работников с высшим профессиональным образованием составляла в октябре 2011 г. 29 927 рублей. Это в 1,6 раза выше заработной платы работников со средним профессиональным и средним (полным) общим образованием, в 1,5 раза выше, чем у работников с начальным профессиональным, и в 1,9 раза больше заработной платы работников без среднего (полного) образования [15] (Рисунок 2).

Аналогичная картина характерна и для США, но с более ярко выраженной дифференциацией. По данным Федерального бюро статистики труда США за 2014 г., заработная

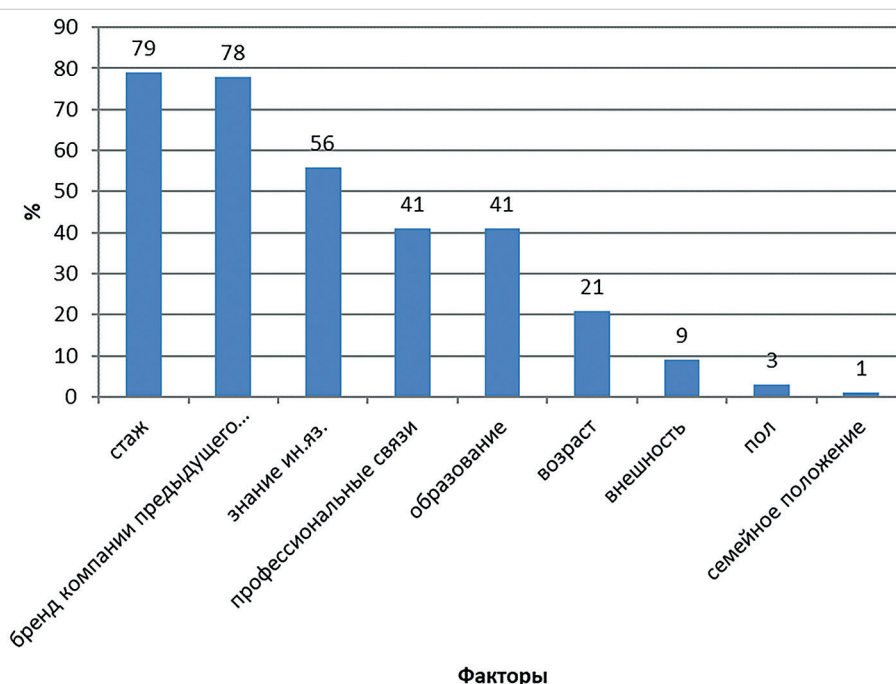


Рисунок 1. Факторы, определяющие зарплату соискателя, по мнению работодателей
Figure 1. Factors determining a salary of a prospective employee according to an employer's opinion

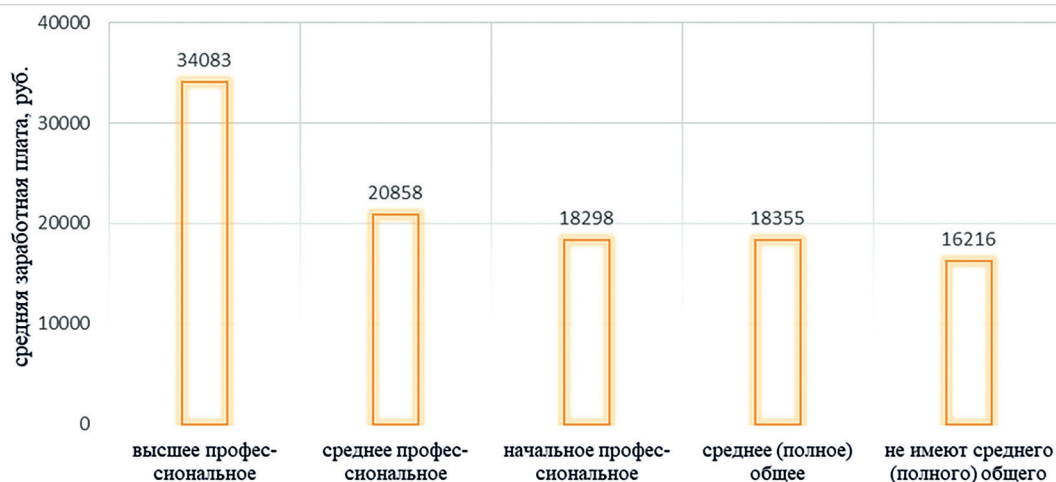


Рисунок 2. Размер средней месячной заработной платы (в рублях) в октябре 2011 г. в России в зависимости от уровня образования
Figure 2. A size of the average monthly salary (in rubles) in October 2011 in Russia depending on an educational level

плата у работников с дипломом бакалавра и иных высших квалификаций в 1,6 раза больше, чем у работников, окончивших колледж. Также она в 2,4 раза превышает зарплату работников, не имеющих среднего (полного) образования [16] (Рисунок 3).

При этом, по данным ФРС, в США растет число молодых людей, которые, несмотря на свое образование, работают неполный день на низкооплачиваемой работе, зарабатывая менее 25 000 \$ в год [17].

Дифференциация заработной платы в зависимости от расовых характеристик иллюстрирует одно из несовершенств рынка труда [16] (Рисунок 4).

Размер заработной платы афроамериканцев в среднем в 1,27 раза ниже, чем у белых. Самыми высокооплачиваемыми работниками являются представители азиатской расы, заработная плата белых составляет 86% от их заработка.

Наблюдается корреляция данных по заработным платам в различных отраслях экономики для России и США [1,16] (Рисунок 5 и Рисунок 6).

Наиболее высокие заработные платы наблюдаются в добывающей отрасли, в добыче и производстве топливно-энергетических ископаемых. Если принять зарплату в производстве топливно-энергетических ископаемых за 100%, то средняя зарплата в гостиницах и ресторанах составляет



Рисунок 3. Размер медианы заработной платы в неделю (в долларах США) в 2014 г. в США в зависимости от уровня образования

Figure 3. A size of the median weekly earnings (in US dollars) in 2014 in the USA depending on an educational level



Рисунок 4. Размер медианы заработной платы в неделю (в долларах США) в 2014 г. в США в зависимости расовых характеристик

Figure 4. A size of the median weekly earnings (in US dollars) in 2014 in the USA depending on racial characteristics

Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата, руб.



Рисунок 5. Размер среднемесячной заработной платы (в рублях) в 2014 г. в России в зависимости вида экономической деятельности

Figure 5. A size of the average monthly salary (in rubles) in 2014 in Russia depending on the economic activity

26% от этой величины в России, а в США медиана зарплаты рабочего персонала — 32%; в сельском хозяйстве в России — 23%, а в США — 35%; в текстильном и швейном производстве в России — 19%, 37% в США; в области здравоохранения и образования средняя заработная плата — 36% и 34% соответственно, в США — 43% и 42% соответственно. В химическом производстве зарплаты несколько выше: в России они составляют 48%, в США — 69%.

Однако в настоящее время в России из всего многообразия факторов, определяющих дифференциацию заработной платы, наиболее сильны внешние: доходность предприятия, его прибыльность, отраслевая принадлежность, географическое расположение, форма собственности [18,19]. Данная ситуация усугубляется тем, что профсоюзы не оказывают необходимого влияния на компании, их деятельность зачастую даже не направлена то, чтобы должным образом улучшить права работников, отстаивать их социально-экономические интересы [20].

Посмотрим влияние регионального фактора на дифференциацию заработной платы в США. На Рисунке 7 представлены различия в недельной заработной плате в зависимости от географического региона Соединенных Штатов.

Разница между наибольшим и наименьшим значением средней заработной платы в неделю чуть меньше 200 долларов, можно сказать, что средняя заработная плата на уровне региональных субъектов почти не отличалась соответствующим показателю во всех штатах. [21]. На средний размер оплаты труда в США региональный фактор почти не влияет.

Распределение средней месячной зарплаты россиян в зависимости от географического положения за 2014 г. по данным Росстата представлено на Рисунке 8.

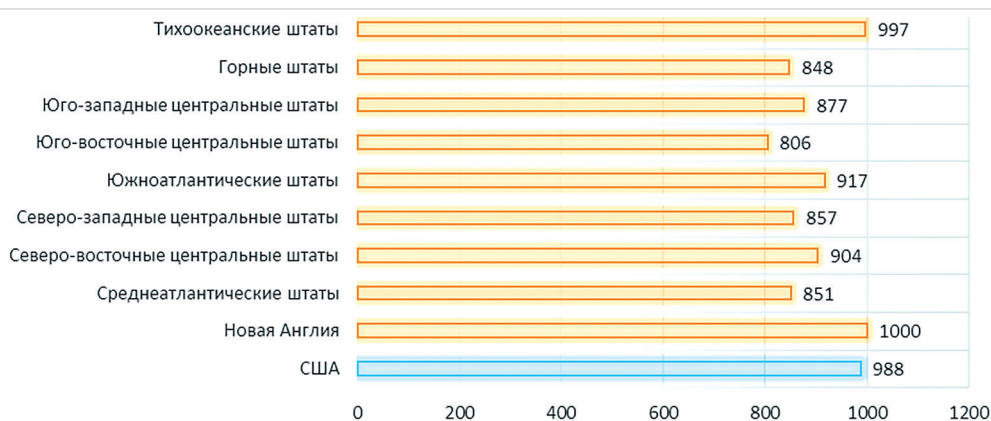
Самая низкая средняя заработная плата была в Дагестане — она составляла 11 900 рублей. Самая высокая — в Чукотском автономном округе: 80 200.

В России наблюдается максимальное, по сравнению со странами ОЭСР, влияние регионального фактора на уровень



Рисунок 6. Размер медианы заработной платы в неделю (в долларах США) в 2014 г. в США в зависимости от вида экономической деятельности и занимаемой должности

Figure 6. A size of the median weekly earnings (in US dollars) in 2014 in the USA



Средняя заработная плата в неделю, долл. США

Рисунок 7. Размер средней заработной платы в неделю (в долларах США) за 2014 г. в Соединенных Штатах в зависимости от географического положения

Figure 7. A size of the average weekly earnings (in US dollars) in 2014 in the USA depending on the geographical location

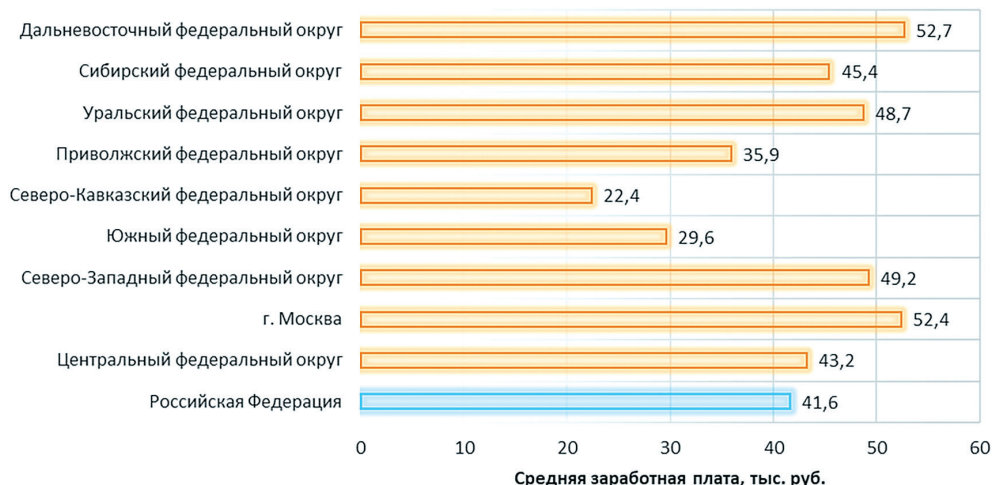


Рисунок 8. Размер средней заработной платы в месяц (в рублях) за 2014 г. в России в зависимости от географического положения

Figure 8. A size of the average monthly salary (in rubles) in 2014 in Russia depending on the geographical location

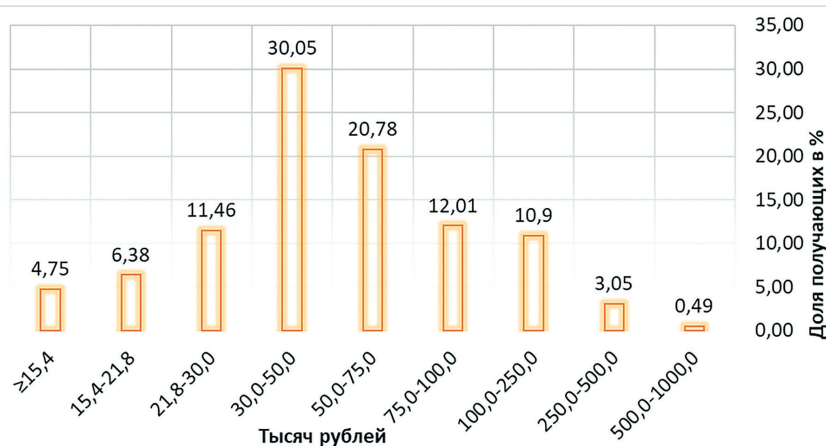


Рисунок 9. Распределение зарплат в Москве

Figure 9. Distribution of salaries in Moscow

оплаты труда [22]. Высокие заработные платы характерны для Дальневосточного и Северо-Западного округов, а также для Москвы. Это может быть связано с наличием добывающих предприятий, в Москве сконцентрированы главные офисы многих компаний.

По данным Росстата, в 2016 году средняя заработная плата в месяц в абсолютных цифрах в Москве составляла 71,1 тыс.руб и была практически в 2 раза выше, чем в среднем по РФ (36,7 тыс. руб). Но и в Москве распределение оплаты труда было крайне неравномерным [1] (Рисунок 9).

Более чем у половины населения Москвы заработная плата не выше 50 тыс. руб., в то время как менее половины процента получают зарплату до миллиона. Такое ошутимое расслоение вряд ли может быть объяснено факторами, определяющими уровень образования и компетенций, а также сложностью условий труда.

Подобные диспропорции негативно отражаются на экономике предприятий и страны, а также на социальном фоне. Известны примеры, когда управляющие госкомпаний получали на законных основаниях премии, на несколько порядков превышающие годовую заработную плату рядовых работников [23].

Гендерные различия также оказывают влияние на размер получаемой заработной платы [24]. В докладе Payscale за 2021 год сообщается, что женщины зарабатывают 82 цента на каждый доллар, который получают мужчины. Разница в оплате труда составляет 18%, однако она нивели-

руется прочими факторами, такими как образование, опыт, территориальное расположение. Принимая их во внимание, разница между зарплатой мужчин и женщин составит 2% [25].

Проведено сравнение среднемесячных заработных плат мужчин и женщин в России (Рисунок 10) и медианы заработной платы в неделю в США (Рисунок 11) в зависимости от рода деятельности [26],[27].

Анализ диаграмм (Рисунок 10 и Рисунок 11) показывает серьезную диспропорцию в размере заработной платы, получаемой мужчинами и женщинами обеих стран, при выполнении схожей работы. Мужчины получают большую зарплату во всех сферах. Показатель гендерного неравенства в оплате труда в России в 2019 году составил 24,8% [28]. В том же году в США этот показатель составил 21% [29].

4. Заключение

Одной из причин дифференциации заработной платы являются квалификация, качество труда, профессиональная подготовка. Уровень образования оказывает схожее влияние на размер заработной платы в России и в США. Сотрудники с высшим образованием получают примерно в 1,6 раза больше людей со средним образованием, и в 2–2,5 раза больше, чем работники без среднего образования. Предложение квалифицированной рабочей силы меньше.

Как в России, так и в США, женщины получают в среднем на 20%-25% меньше мужчин во всех рассмотренных сфе-

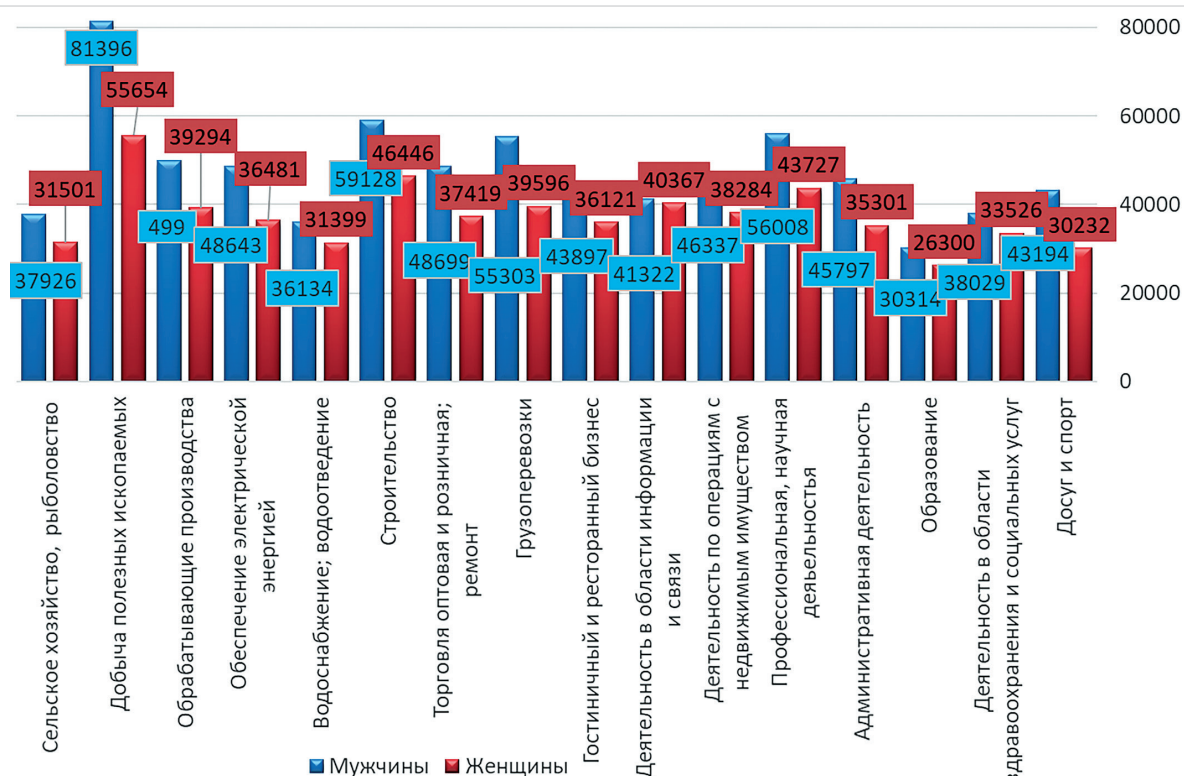


Рисунок 10. Средняя начисленная заработная плата по видам деятельности в РФ зависимости от пола за октябрь 2019 года (руб.)

Figure 10. Average monthly accrued salary by types of activities in the RF depending on gender in October 2019 (rubles)

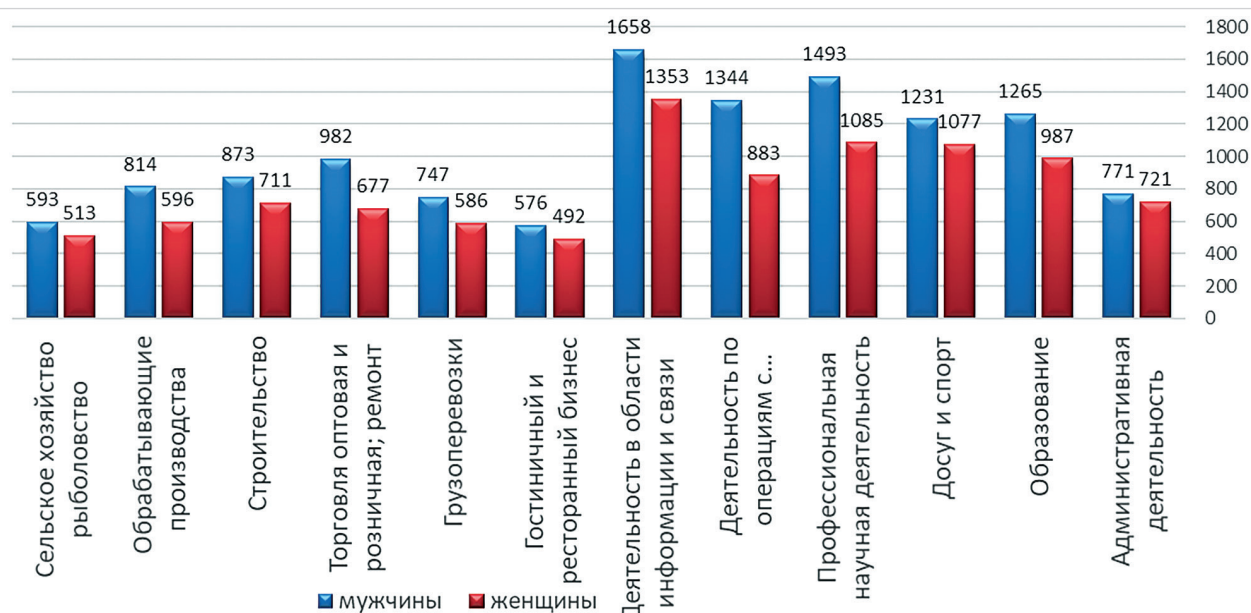


Рисунок 11. Размер медианы заработной платы в неделю (в долларах США) за 2019 г. в Соединенных Штатах в зависимости от вида деятельности и пола

Figure 11. A size of the median weekly earnings (in US dollars) in 2019 in the USA depending on the economic activity and gender

рах деятельности. Гендерный разрыв отчасти объясняется различиями в характеристиках женщин и мужчин, занимаемых ими должностях и разным уровнем оплаты труда в профессиях, которые традиционно считаются женскими и мужскими, тем фактом, что женщины чаще работают неполный рабочий день. Весьма часто, однако, зарплата сотрудников женского пола ниже, чем у мужчин, работающих на той же должности, что связано с наличием у работодателей определенных стереотипов в отношении материнства и недооценкой труда женщин.

Большое значение имеет сфера приложения труда. Наиболее высокие заработные платы в РФ характерны для топливной промышленности, среднемесячная оплата труда в компаниях, занимающихся производством нефтепродуктов более чем в 2 раза превышает зарплату во всех остальных приведенных сферах экономической деятельности, не связанных с добычей полезных ископаемых, что отражает сырьевую направленность экономики России. Наименьший уровень заработной платы в обеих странах наблюдался в сфере гостиничной и ресторанной деятельности, сельском

хозяйстве и легкой промышленности. Отмечается слабая дифференциация оплаты труда во всех прочих сферах деятельности, высок спрос на квалифицированную рабочую силу.

Региональный фактор в значительной степени влияет на оплату труда в России. Наиболее высокая заработная плата в экономически развитых регионах, в крупных городах которых находятся офисы транснациональных компаний, а также в местах добычи полезных ископаемых. На обширной территории нашей страны можно встретить совершенно разные климатические условия, что также объясняет неравенство в заработной плате. В США данный фактор почти не влияет на уровень оплаты труда.

Расовая принадлежность влияет на размер заработной платы в США: к примеру, оплата труда афроамериканцев в среднем ниже по сравнению с представителями других рас*

Государство ощутимо влияет на современный рынок труда, оно предъявляет спрос на услуги труда в государст-

венном секторе экономики, устанавливает параметры найма в масштабах всей экономики, обеспечивая тем самым планомерное развитие разных отраслей экономики, рост конкурентоспособности выпускаемой продукции и, как следствие, рост благосостояния населения. Однако в России заработная плата формируется скорее под влиянием спроса на готовую продукцию и рентабельностью предприятия. Низкий минимальный размер оплаты труда, отсутствие профсоюзов и низкая мобильность населения в регионах, в результате которой на рынках труда отдельных городов складываются черты монополии и прочие факторы приводят к тому, что даже в отраслях топливно-энергетического комплекса высокие средние зарплаты обеспечиваются доходами руководителей, искажая в итоге саму природу различий в оплате труда. Механизмы регулирования нуждаются в изменении, для того чтобы главными факторами дифференциации заработной платы стали квалификация, навыки, опыт, условия труда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики РФ. Электронный ресурс: http://www.gks.ru/bgd/regl/b15_13/IssWWW.exe/Stg/d01/06-06.doc / Дата обращения 12.11.2021.
- Войтов, А. Г. (1999). Экономика. Общий курс (Фундаментальная теория экономики). — М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 1999.
- What do economists mean by “slack”? Retrieved from <https://www.cbsnews.com/news/what-do-economists-mean-by-slack/> / Accessed November 12, 2021.
- Wage Differentials. Retrieved from <https://www.economicdiscussion.net/human-resource-management/wage-differentials/wage-differentials/32425/> / Accessed November 12, 2021.
- Ovchinnikov, V. N., Malkina, M. Y. (2019). Determinants of wage inequality in modern Russia. *Terra Economicus*, 17(3), 30–47. <https://doi.org/10.23683/2073-6606-2019-17-3-30-47>
- Shirnaeva, S. Y., Sukhanova, E. I., Repina, E. G. (2020). *Regional differentiation of unemployment rate in the Russian Federation: Econometric analysis*. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences, 79, 563–569. European Publisher. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2020.03.81>
- McConnell, C. R., Brue, S.L. (1990). *Economics: principles, problems, and policies*. McGraw-Hill Publishing Company, 1990.
- Мануйлова, А., Шаповалов, А. Зарплаты идут в ногу с рынком. Электронный ресурс: <https://pandia.ru/text/80/282/83135.php>. Дата обращения 12.11.2021
- IMF Country Report No. 16/151 “Cross-country Report on Minimum Wages: Selected Issues”. Retrieved from <https://www.imf.org/external/pubs/ft/scr/2016/cr16151.pdf> / Accessed November 12, 2021.
- Boosting Jobs and Living Standards in G20 Countries. Retrieved from <https://www.oecd.org/eco/growth/Boosting%20jobs%20and%20living%20standards%20in%20G20%20countries.pdf/> / Accessed December 12, 2021.
- Медианная заработная плата по административным данным Пенсионного фонда Российской Федерации. Электронный ресурс: https://www.Mediana_2019-2020.xlsx (live.com) / Дата обращения 12.12.2021.
- Федеральный закон от 25 декабря 2018 года № 481-ФЗ «О внесении изменения в статью 1 Федерального закона «О минимальном размере оплаты труда»». Электронный ресурс: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201812250085/> / Дата обращения 12.12.2021.
- Industrial relations Minimum wages in 2020: Annual review. Retrieved from https://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef_publication/field_ef_document/ef20005en.pdf / Accessed December 14, 2021.
- State Minimum Wages. The National Conference of State Legislatures. Retrieved from <https://www.ncsl.org/research/labor-and-employment/state-minimum-wage-chart.aspx> / Accessed December 14, 2021.
- Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики РФ. Электронный ресурс: http://www.gks.ru/bgd/regl/B12_04/IssWWW.exe/Stg/d06/3-plat.htm / Дата обращения 14.12.2021.
- U. S. Bureau of labor statistics. Report 1058. November 2015. Retrieved from <https://www.bls.gov/opub/reports/womens-earnings/archive/highlights-of-womens-earnings-in-2014.pdf> / Accessed December 14, 2021.
- Many new college grads are stuck in low-wage jobs. CBS News. Retrieved from <https://www.cbsnews.com/news/college-grad-low-wage-jobs-new-york-federal-reserve-data/?intcid=CNM-00-10abd1h/> / Accessed December 14, 2021.
- Черняк, Ж. А. (2012). Дифференциация заработной платы как элемент рыночной экономики. *Вестник Омского университета. Серия «Экономика»*, 4, 126–131.
- Fitzenberger, B, de Lazzar, J. (2021). Changing selection into full-time work and its effect on wage inequality in Germany. *Empirical Economics*, 62(1), 247–277. <https://doi.org/10.1007/s00181-021-02098-0>
- OECD (2011). Reviews of Labour Market and Social Policies: Russian Federation 2011. Retrieved from https://read.oecd-ilibrary.org/employment/oecd-reviews-of-labour-market-and-social-policies-russian-federation-2011_9789264118720-en#page83 / Accessed December 14, 2021 <https://doi.org/10.1787/9789264118720-en>
- Quarterly Census of Employment and Wages — Bureau of Labor Statistics https://data.bls.gov/cew/apps/table_maker/v4/table_maker.htm#type=0&year=2014&qtr=A&own=0&ind=10&supp=1 / Accessed December 14, 2021.
- Ощепков, А. (2008). Межрегиональные различия в заработной плате в России. Электронный ресурс: <http://www.demoscope.ru/weekly/2008/0337/analit02.php> Дата обращения 14.12.2021.
- Вознаграждение органов управления ПАО «Газпром нефть». Электронный ресурс: <https://ar2020.gazprom-neft.ru/governance-system/corporate-governance/remuneration>. Дата обращения 14.12.2021.
- Magnusson, C. (2010). Why is there a gender wage gap according to occupational prestige?: An analysis of the gender wage gap by occupational prestige and family obligations in Sweden. *Acta Sociologica*, 53(2), 99–117. <https://doi.org/10.1177/0001699310365627>.
- Spiggle, T. (2021). The Gender Pay Gap: Why It's Still Here. Forbes. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/tomspiggle/2021/05/25/the-gender-pay-gap-why-its-still-here/?sh=52f1f22e7baf> / Accessed December 14, 2021.
- Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики РФ. Сведения о заработной плате работников организаций по категориям персонала и профессиональным группам работников за октябрь 2019 г. Электронный ресурс: https://rosstat.gov.ru/labour_costs/ / Дата обращения 14.12.2021.
- Median weekly earnings of full-time wage and salary workers by detailed occupation and sex. Retrieved from https://www.bls.gov/cps/cps_aa2019.htm#weekearn / Accessed December 14, 2021.
- Unadjusted gender pay gap: difference between average hourly male and female earnings as a percentage of average hourly male earnings in Russia from 2015 to 2019. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/1261581/gender-pay-gap-russia/> / Accessed December 14, 2021.
- Zippia's annual gender pay gap report for 2019. Retrieved from <https://www.zippia.com/research/gender-pay-gap/> / Accessed December 14, 2021.

REFERENCES

- Federal State Statistics Service. Retrieved from http://www.gks.ru/bgd/regl/b15_13/IssWWW.exe/Stg/d01/06-06.doc / Accessed November 12, 2021 (In Russian)
- Voitov, A. G. (1999). *Economy. General course (Fundamental theory of economics)*. Moscow: Information and Implementation Center “Marketing”, 1999 (In Russian)

3. What do economists mean by “slack”? Retrieved from <https://www.cbsnews.com/news/what-do-economists-mean-by-slack/> Accessed November 12, 2021.
4. Wage Differentials. Retrieved from <https://www.economicdiscussion.net/human-resource-management/wage-differentials/wage-differentials/32425/> Accessed November 12, 2021.
5. Ovchinnikov, V. N., Malkina, M. Y. (2019). Determinants of wage inequality in modern Russia. *Terra Economicus*, 17(3), 30–47. <https://doi.org/10.23683/2073-6606-2019-17-3-30-47>
6. Shirnaeva, S. Y., Sukhanova, E. I., Repina, E. G. (2020). *Regional differentiation of unemployment rate in the Russian Federation: Econometric analysis*. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences, 79, 563–569. European Publisher. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2020.03.81>
7. McConnell, C. R., Brue, S. L. (1990). *Economics: principles, problems, and policies*. McGraw-Hill Publishing Company, 1990.
8. Manuylova, A., Shapovalov, A. Salaries keep pace with the market — <https://pandia.ru/text/80/282/83135.php>. Accessed 12.11.2021 (In Russian)
9. IMF Country Report No. 16/151 “Cross-country Report on Minimum Wages: Selected Issues”. Retrieved from <https://www.imf.org/external/pubs/ft/scr/2016/cr16151.pdf> / Accessed November 12, 2021.
10. Boosting Jobs and Living Standards in G20 Countries. Retrieved from <https://www.oecd.org/eco/growth/Boosting%20jobs%20and%20living%20standards%20in%20G20%20countries.pdf> / Accessed December 12, 2021.
11. Median salary according to the administrative data of the Pension Fund of the Russian Federation. Retrieved from <https://www.Mediana.2019-2020.xlsx> (live.com) / Accessed December 12, 2021 (In Russian)
12. Federal Law No. 481-FZ of December 25, 2018 “On Amendments to Article 1 of the Federal Law “On the Minimum Wage””. Retrieved from <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201812250085> / Accessed December 12, 2021 (In Russian)
13. Industrial relations Minimum wages in 2020: Annual review. Retrieved from https://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef_publication/field_ef_document/ef20005en.pdf / Accessed December 14, 2021.
14. State Minimum Wages. The National Conference of State Legislatures. Retrieved from <https://www.ncsl.org/research/labor-and-employment/state-minimum-wage-chart.aspx> / Accessed December 14, 2021.
15. Federal State Statistics Service. Retrieved from http://www.gks.ru/bgd/regl/B12_04/IssWWW.exe/Stg/d06/3-plat.htm / Accessed December 12, 2021 (In Russian)
16. U. S. Bureau of labor statistics. Report 1058. November 2015. Retrieved from <https://www.bls.gov/opub/reports/womens-earnings/archive/highlights-of-womens-earnings-in-2014.pdf> / Accessed December 14, 2021.
17. Many new college grads are stuck in low-wage jobs. CBS News. Retrieved from <https://www.cbsnews.com/news/college-grad-low-wage-jobs-new-york-federal-reserve-data/?intcid=CNM-00-10abd1h> / Accessed December 14, 2021.
18. Chernyak, J.A. (2012). The differentiation of wages as a part of the market economy. *Herald of Omsk University. Series: Economics*, 4, 126–131. (In Russian)
19. Fitzenberger, B, de Lazzar, J. (2021). Changing selection into full-time work and its effect on wage inequality in Germany. *Empirical Economics*, 62(1), 247–277. <https://doi.org/10.1007/s00181-021-02098-0>
20. OECD (2011). Reviews of Labour Market and Social Policies: Russian Federation 2011. Retrieved from https://read.oecd-ilibrary.org/employment/oecd-reviews-of-labour-market-and-social-policies-russian-federation-2011_9789264118720-en#page83 / Accessed December 14, 2021 <https://doi.org/10.1787/9789264118720-en>
21. Quarterly Census of Employment and Wages — Bureau of Labor Statistics https://data.bls.gov/cew/apps/table_maker/v4/table_maker.htm#type=0&year=2014&qtr=A&own=0&ind=10&supp=1 Accessed December 14, 2021
22. Oschepkov, A. (2008). Interregional wage differences in Russia. Retrieved from <http://www.demoscope.ru/weekly/2008/0337/analit02.php> Accessed December 14, 2021.
23. Remuneration of the management bodies of Gazprom Neft PJSC. <https://ar2020.gazprom-neft.ru/governance-system/corporate-governance/remuneration> Accessed December 14, 2021 (In Russian)
24. Magnusson, C. (2010). Why is there a gender wage gap according to occupational prestige?: An analysis of the gender wage gap by occupational prestige and family obligations in sweden. *Acta Sociologica*, 53(2), 99–117. <https://doi.org/10.1177/0001699310365627>
25. Spiggle, T. (2021). The Gender Pay Gap: Why It's Still Here. Forbes. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/tomspiggle/2021/05/25/the-gender-pay-gap-why-its-still-here/?sh=52f1f22e7baf> / Accessed December 14, 2021.
26. Federal State Statistics Service. Information on salaries of employees of organizations by categories of personnel and professional groups of employees for October 2019. Retrieved from https://rosstat.gov.ru/labour_costs / Accessed December 14, 2021 (In Russian)
27. Median weekly earnings of full-time wage and salary workers by detailed occupation and sex. Retrieved from https://www.bls.gov/cps/cps_aa2019.htm#weekearn / Accessed December 14, 2021.
28. Unadjusted gender pay gap: difference between average hourly male and female earnings as a percentage of average hourly male earnings in Russia from 2015 to 2019. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/1261581/gender-pay-gap-russia/> Accessed December 14, 2021.
29. Zippia's annual gender pay gap report for 2019. Retrieved from <https://www.zippia.com/research/gender-pay-gap/> Accessed December 14, 2021.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Ивашковский Станислав Николаевич — кандидат экономических наук, доцент, профессор, кафедра экономической теории, Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации 119454, Москва, проспект Вернадского, 76 Тел.: +7-485-225-37-27 E-mail: stanislav.ivashkovskiy@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7335-0453 Каспарян Арсений Арсенович — бакалавр, Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации 119454, Москва, проспект Вернадского, 76 Эллиник Институт Промотинг Европиан Синерджис Греция, 17561 Афины, Палео Фалеро Афродитис 32 Тел.: +7-925-137-17-26 E-mail: xarseniix@list.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2386-742X * автор для контактов	Stanislav N. Ivashkovski, candidate of economic sciences, docent, professor, Department of Economic Theory, Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation 76, Prospect Vernadskogo, Moscow, Russia, 119454 Tel.: +7-485-225-37-27 E-mail: stanislav.ivashkovskiy@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7335-0453 Arseni A. Kasparian, bachelor, Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation 76, Prospect Vernadskogo, Moscow, Russia, 119454 Trainee, Hellenic Institute Promoting European Synergies Afroditis 32, 17561 Palaio Faliro, Athens, Greece Tel.: +7-925-137-17-26 E-mail: xarseniix@list.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2386-742X * 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/10.21323/2618-9771-2022-5-1-64-69>

Поступила 15.02.2022

Поступила после рецензирования 15.03.2022

Принята в печать 25.03.2022

© Казанцев Е. В., Кондратьев Н. Б., Руденко О. С., Петрова Н. А., Белова И. А., 2022



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

Научная статья

Open access

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕНООБРАЗНОЙ СТРУКТУРЫ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

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

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

кондитерские изделия, пастильные изделия, белок яичный, пектин, сахар белый, пенообразная структура, активность воды, стойкость пены

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассмотрены вопросы формирования пенообразной структуры зефира. Выявлены закономерности влияния рецептурных компонентов на структуру пен. Исследовано влияние яичного белка, пектина, сахара белого, яблочного пюре и других рецептурных компонентов на физико-химические и реологические свойства пенной массы, используемой для получения зефира. Внесение пектина приводит к увеличению упруго-пластичных свойств пенной массы, а добавление сахара белого приводит к увеличению ее пенообразующей способности. Рецептурные компоненты формируют пенообразную структуру зефира. Выбор яблочного пектина позволяет управлять плотностью зефирной массы и активностью воды пенных масс. При добавлении 0,075% яблочного пектина в 1%-й раствор яичного белка пенообразующая способность понижается от 190% до 104%, а стойкость пены практически не изменяется. Добавление яблочного пюре, патоки, лимонной кислоты и других рецептурных компонентов в такую пенную массу приводит к незначительному уменьшению пенообразующей способности, при этом ее стойкость существенно увеличивается до 80%, т. е. практически в два раза. Полученная пенообразная структура зефирной массы характеризуется высокими физико-химическими, органолептическими и реологическими показателями, что позволяет получать кондитерские изделия заданной формы высокого качества.

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 15.02.2022

Accepted in revised 15.03.2022

Accepted for publication 25.03.2022

© Kazantsev E. V., Kondratev N. B., Rudenko O. S., Petrova N. A., Belova I. A., 2022

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

Original scientific article

Open access

FORMATION OF A FOAMY STRUCTURE OF CONFECTIONERY PASTILLE PRODUCTS

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

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

KEY WORDS:

confectionery, pastille products, egg white, pectin, white sugar, foamy structure, water activity, foam stability

ABSTRACT

In this paper, the questions of the foamy structure formation in zephyr are considered. Regularities of the influence of recipe components on the foam structure are revealed. The effect of egg white, pectin, white sugar, applesauce and other recipe components on the physicochemical and rheological properties of the foam mass used to produce zephyr has been studied. The addition of pectin leads to an increase in the elastic-plastic properties of the foam mass, and the addition of white sugar leads to an increase in its foaming ability. Recipe components form the foamy structure of the zephyr. The choice of apple pectin allows one to control the density of the zephyr mass and the water activity of the foamy masses. When 0.075% apple pectin is added to a 1% egg white solution, the foaming ability decreases from 190% to 104%, and the foam stability remains practically unchanged. The addition of applesauce, syrup, citric acid and other recipe components to such a foamy mass leads to a slight decrease in the foaming ability, while its stability increases significantly up to 80%, i. e., almost twice. The resulting foamy structure of the zephyr mass is characterized by high physicochemical, organoleptic and rheological parameters, which makes it possible to obtain high quality confectionery products of a given shape.

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

1. Введение

Пастильные кондитерские изделия, такие как зефир и пастила, обладают пенообразной структурой и пользуются высоким спросом у потребителей. Обеспечение длительных сроков хранения пастильных изделий с сохранением их структуры и свежести, а также без изменения вкусовых свойств является актуальной задачей для производителей. В процессе хранения такие продукты подвержены физи-

ческим трансформациям в результате дегидратации или синерезиса, увлажнения поверхности, изменения показателей пищевой ценности [1].

Пастильные изделия в соответствии с ГОСТ 6441-2014 «Изделия кондитерские пастильные. Общие технические условия» это сахаристые кондитерские изделия пенообразной структуры, полученные из сбивной массы с добавлением структурообразователя или без него, фруктового (овощного)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Казанцев, Е. В., Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С., Петрова, Н. А., Белова, И. А. (2022). Формирование пенообразной структуры кондитерских изделий. *Пищевые системы*, 5(1), 64-69. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-64-69>

FOR CITATION: Kazantsev, E. V., Kondratev, N. B., Rudenko, O. S., Petrova, N. A., Belova, I. A. (2022). Formation of a foamy structure of confectionery pastille products. *Food systems*, 5(1), 64-69. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-64-69>

сырья, пищевых добавок, с массовой долей фруктового (овощного) сырья не менее 11%, массовой долей влаги не более 2%, плотностью не более 0,9 г/см³. Пастильные изделия подразделяют на пастилу и зефир, отличающихся плотностью сбивной массы и способом формования. Широкое распространение получили кондитерские изделия «маршмеллоу».

Пенообразная структура, или пена, представляет собой дисперсную систему, состоящую из пузырьков воздуха с прослойками жидкости. Принудительное включение воздуха в жидкость приводит к образованию пены. Равномерное распределение пузырьков способствует улучшению реологических свойств аэрированного продукта [2].

Пены, в зависимости от условий получения, вида и концентрации поверхностно-активного вещества (ПАВ) в пенообразующем растворе, разрушаются или превращаются в полиэдрическую пену. Устойчивые полиэдрические пены получают только в присутствии ПАВ. Введение ПАВ снижает поверхностное натяжение на поверхности раздела жидкость-газ, в процессе облегчается диспергирование газа и уменьшается размер пузырьков.

В качестве ПАВ применяются различные белковые соединения, обладающие пенообразующей способностью, такие как сывороточный альбумин, казеин, желатин, овальбумин и др. Каждый пузырек пены образует полусферический купол, представляющий собой жидкую пленку, состоящую из двух адсорбционных слоев ПАВ и внутренней прослойки жидкости (Рисунок 1).

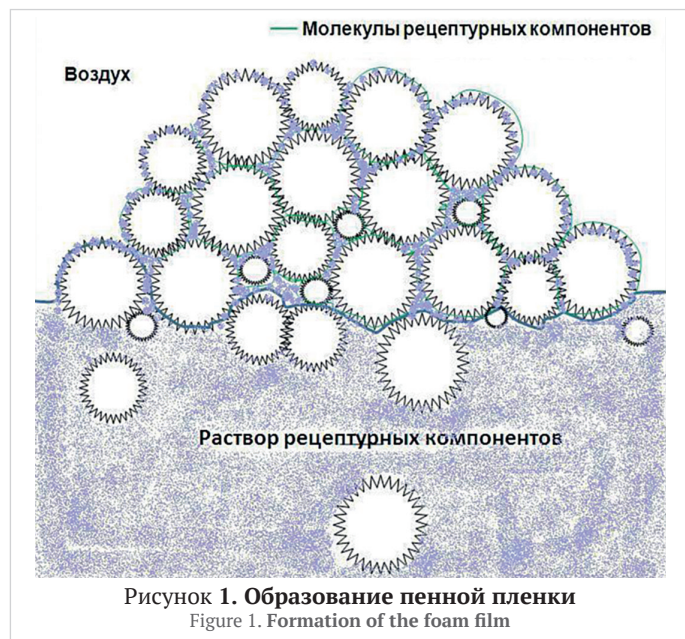


Рисунок 1. Образование пенной пленки
Figure 1. Formation of the foam film

Яичный белок способствует образованию адсорбционных слоев на поверхности пузырьков воздуха и обеспечивает их длительное существование. Увеличение числа пузырьков на поверхности жидкости приводит к их сближению. Процессам сближения и деформации поверхностей пузырьков способствует также капиллярное притяжение, вследствие чего между соседними пузырьками возникают тонкие жидкие пленки. В результате таких процессов на поверхности жидкости образуется сначала монослой молекул ПАВ, затем формируются последующие слои ПАВ, что приводит к образованию объемной пены [3,4].

Качество пен обуславливается соотношением сырьевых компонентов, химическим составом и концентрацией пенообразователя, технологическими параметрами (pH, продолжительностью взбивания, температурой смеси) и другими факторами.

Пена в виде дисперсной системы образуется во время встряхивания сосуда при совместном перемешивании жидкости и газа. Пенообразующая способность и стабильность зависят от состава и физико-химических свойств белка (сывороточного протеина). Казеин и сывороточный белок молока считаются основными ПАВ молока, ответственными за пенообразование. Мицеллы казеина способствуют стабилизации молочной пены при температуре $\geq 45^\circ\text{C}$ [5–7].

Изменение pH влияет на величину суммарного заряда белковых молекул, что приводит к трансформации сил притяжения-отталкивания белковых молекул и влияет на связывание молекул воды. Карбоксипропилметилцеллюлоза при pH 7,0 не изменяет твердость и эластичность геля яичного белка, но при pH 3,0 эти свойства усиливаются. Гибридный гель яичного белка и геллановой камеди при pH 4,0 имеет более однородную микроструктуру и более твердую текстуру, чем гель, приготовленный при pH 7,0, из-за различного электростатического взаимодействия, обусловленного отталкиванием макромолекул биополимеров [8,9].

Для приготовления пастильных масс пенообразной структуры при аэрации рецептурной смеси используются гомогенизаторы, блендеры, мешалки и венчики. Происходит образование границ раздела газ-жидкость. Помимо этих процессов, образование пузырьков связано с созданием и разрывом границы раздела воздух-жидкость, что сопровождается их механическими напряжениями. Добавление поверхностно-активных веществ используется для увеличения межфазного напряжения [10].

Белки играют важную роль в стабилизации пены, поскольку они образуют вязкоупругую пленку на границе раздела газ-жидкость.

Основными характеристиками устойчивых пен являются высокая удельная площадь поверхности, низкая скорость межфазного проскальзывания, большой коэффициент расширения и конечный предел текучести.

Показатель активности воды используется для прогнозирования изменений реологических показателей различных пищевых систем.

Для оптимизации процесса формирования пен при использовании различных видов структурообразователей применяют соли-ретардаторы, с помощью которых можно управлять реологическими свойствами пенных масс [11].

Для оценки качества и сохранности пенообразной структуры пастильных изделий необходимы комплексные исследования пенообразователей и структурообразователей на молекулярном уровне, которые должны включать характеристику микроструктуры пен и информацию о взаимодействии сахаров, полисахаридов, белков и других компонентов [12].

Формирование стойких пен обусловлено присутствием полисахаридов пектина, агара и др. Полисахариды широко используются в пищевой промышленности из-за их загущающих и желеобразующих свойств [13–15]. Полисахариды улучшают функциональные свойства белков благодаря различным взаимодействиям и факторам, таким как электростатическое и гидрофобное образование водородных связей. Электростатические взаимодействия, проявляющиеся силами отталкивания или притяжения между макромолекулами полисахаридов, формируют пищевые системы [16,17].

Многофункциональность пектина обусловлена природой его молекул, состоящих из полярных и неполярных областей, благодаря чему его используют в качестве заменителя жира или сахара в низкокалорийных десертах.

Структура пектиновых цепочек является ключевым фактором, влияющим на свойства пектинов и на их применение при формировании структуры пастильных кондитерских изделий [18].

Полисахариды повышают гелеобразующие свойства пенообразователей, влияя на их физические, химические и микроскопические свойства, такие как твердость, эластичность, микроструктура. Поперечно сшитые полимеры также увеличивают количество связанной влаги в пищевой системе.

Важными факторами, влияющими на образование электростатических комплексов, являются pH, ионная сила, соотношение биополимеров. Контроль этих показателей позволяет отслеживать взаимодействие биополимеров, чтобы регулировать структуру, текстуру и стабильность различных пищевых продуктов.

Полисахариды придают гелю яичного белка высокую эластичность и твердость благодаря формированию однородной структуры, например, в гелях, содержащих соевый белок, полисахариды и хлорид натрия [19,20]. Добавление ксантановой и геллановой камедей может улучшить свойства белкового геля за счет межмолекулярного электростатического притяжения.

Таким образом, необходимо исследовать взаимодействия между пенообразователем и полисахаридами для проектирования и разработки новых пищевых продуктов. Целью данной работы является оценка влияния различных факторов на процесс изготовления кондитерских изделий пенообразной структуры.

2. Объекты и методы

Объектами исследования являлись образцы пен на основе сухого яичного белка, яблочного пектина, сахара белого, патоки и лимонной кислоты.

Пенные массы получали механическим взбиванием после процесса набухания 1,00 г сухого яичного белка в 100,0 см³ дистиллированной воды; к полученному раствору добавляли 0,075 г яблочного пектина, 0,400 г сахара белого, 2,0 г яблочного пюре, 2,5 г кислотной патоки, 0,01 г лимонной кислоты.

Исследования студнеобразующей способности пектина с сахаром проведены в соответствии с МВИ № 83–19825192–2021 «Методика определение прочности пектинового студня с сахаром».

Активность воды определена по ГОСТ Р ИСО 21807 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Определение активности воды» на приборе AquaLab 3TE (США); (диапазон измерения активности воды от 0,200

до 1,000, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений активности воды $\pm 0,006$).

Микроструктура образца исследована с помощью микроскопа Nikon 120с.

Для определения пенообразующей способности белка в стеклянный химический стакан взвешивали 1,00 г яичного белка, добавляли 100 см³ дистиллированной воды и выдерживали в течение 30 мин, затем содержимое стакана помещали в цилиндр и механически сбивали с периодичностью 1 мин для замера объема пены. Пенообразующую способность вычисляли как отношение прироста объема пены к первоначальному объему. Стойкость пены определяли с использованием методики ВНИИ кондитерской промышленности.

3. Результаты и обсуждение

Основной причиной изменений качества зефира являются процессы миграции влаги, обусловленные различной влагоудерживающей способностью пенообразной структуры.

Поскольку процесс изготовления зефирной массы состоит из нескольких стадий на каждой стадии мы рассматриваем свойства пенной массы для возможности управления качеством изделий в условиях нестабильного качества использованного сырья, в том числе яичного белка, пектина, фруктового пюре и др.

Яичный белок, используемый для получения пастильных изделий, обладает различной пенообразующей способностью. В каждой группе белков имеются отличия по основным показателям, определяющим структурно-механические свойства полученной сбивной массы. Результаты исследований факторов, влияющих на пенообразующую способность и на стойкость пены для сухого яичного белка, могут быть использованы с целью прогнозирования и увеличения срока годности зефира. Установлено, что каждая партия сухого яичного белка обладает индивидуальной пенообразующей способностью (Рисунок 2).

Результаты исследований девяти образцов студнеобразователей показали, что прочность студней по методу Валента (г/см²) находится в широких пределах, 600–1200 для пектина и 700–1400 для агара. Установлено, что с использованием пектина с прочностью студня более 1000 г/см² можно получать пастильные изделия с высокими упруго-пластичными свойствами. Использование пектина с прочностью студня менее 1000 г/см² приводит к риску получения зефира и пастилы нестабильного качества.

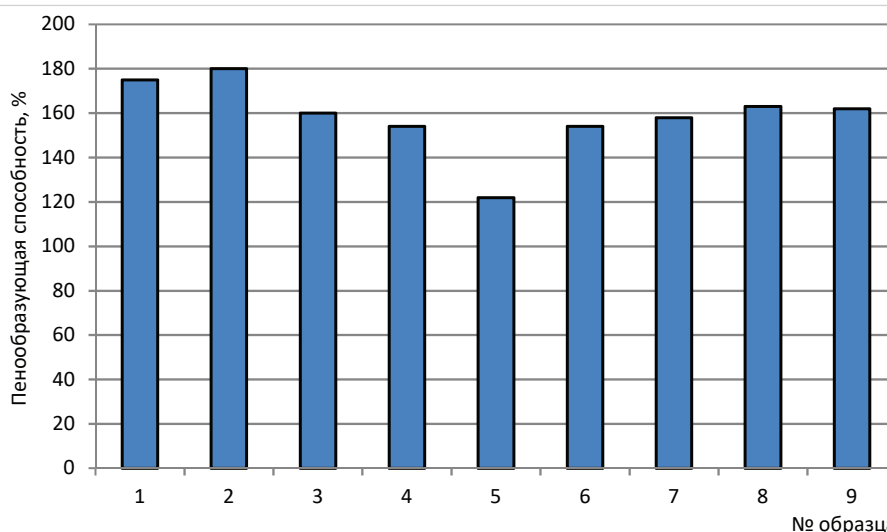


Рисунок 2. Пенообразующая способность различных белков, применяемых для формирования пенообразной структуры пастильных кондитерских изделий

Figure 2. Foaming ability of different proteins used to form foamy structures of confectionery pastille products

Таким образом, студнеобразующая способность является важнейшей характеристикой полисахаридов для их применения в технологии получения пастильных изделий.

Стабильность сбивной массы в процессе структурообразования зависит от динамики разрушения белковой пены. Пенообразователи разных производителей характеризуются различной динамикой снижения стойкости пены. Значительная интенсивность разрушения пены может вызвать ухудшение внешнего вида изделия, уменьшение его объема, появление серого оттенка, т. е. в процессе структурообразования и хранения качество отформованного сбивного изделия может ухудшаться.

Первой стадией получения зефирной массы является приготовление водных растворов яичного белка. Микроструктура таких растворов характеризуется большим размером воздушных пузырьков в диапазоне от 200 до 600 мкм (Рисунок 3).

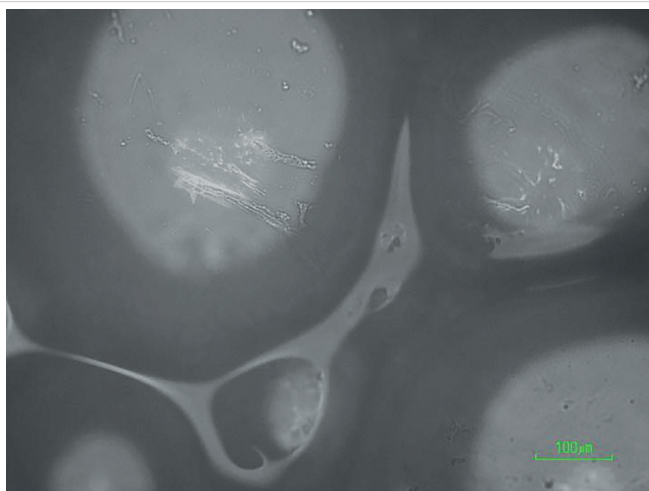


Рисунок 3. Микроструктура пены, содержащей 1% яичного белка

Figure 3. Microstructure of the foam containing 1% of egg white

Такая микроструктура является нестабильной из-за малой энергии поверхностного натяжения и разрушается в течение 10–20 мин. Активность воды пены составила 0,966, что свидетельствует о нахождении практически всей влаги в свободной форме.

Для повышения стабильности белковых пен, укрепления прочности стенок пузырьков используют структурообразователи, такие как яблочный пектин, желатин, агар, камеди и др. При добавлении пектина в 1%-й раствор яичного белка пенообразующая способность понижается от 190,9% до 104,3%, а стойкость пены практически не изменяется, слой пленки пузырьков на границе фаз жидкость-газ утолщается (Рисунок 4).

Увеличение толщины пленки воздушных пузырьков способствует повышению стойкости пены. При этом форма связи влаги практически не меняется, что подтверждено сохранением высокого значения активности воды 0,970. Средний размер пузырьков уменьшается и находится в диапазоне от 250 до 350 мкм.

Добавление сахара белого кристаллического в пенную массу приводит к усилению пенообразующей способности, однако стойкость пены понижается от 66,6% до 40,6%. В результате добавления сахара белого произошло дальнейшее утолщение и повышение упругости пленки пузырьков (Рисунок 5).

Микроструктура полученной пены характеризуется наличием значительного объема пузырьков воздуха размером 150–250 мкм. Это приводит к увеличению площади поверхности воздушных пузырьков пены и является причиной некоторого повышения активности воды до 0,983.

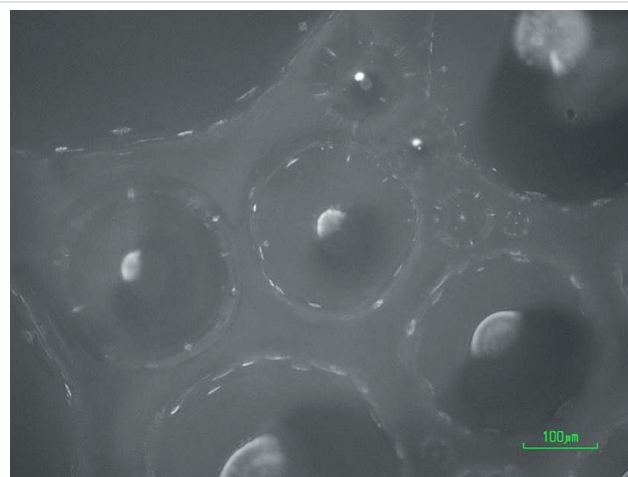


Рисунок 4. Микроструктура пены, содержащей 1% яичного белка, 0,075% пектина

Figure 4. Microstructure of the foam containing 1% of egg white and 0.075% of pectin

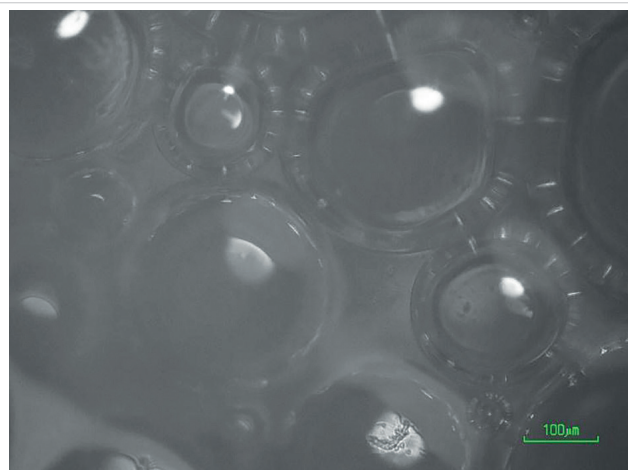


Рисунок 5. Микроструктура пены, содержащей 1% яичного белка, 0,075% пектина, 0,4% сахара белого

Figure 5. Microstructure of the foam containing 1% of egg white, 0.075% of pectin and 0.4% of white sugar

Добавление яблочного пюре, патоки, лимонной кислоты и других рецептурных компонентов в такую пенную массу приводит к незначительному уменьшению пенообразующей способности, при этом ее стойкость существенно увеличивается до 80%, т. е. практически в два раза (Рисунок 6).

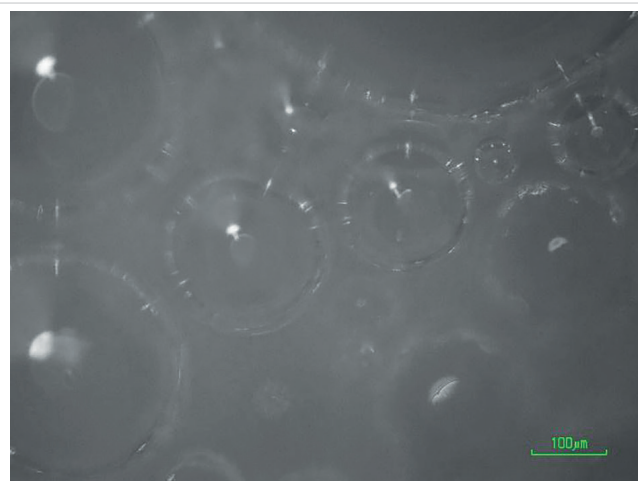


Рисунок 6. Микроструктура зефирной массы

Figure 6. Microstructure of zephyr mass

Получена стойкая пена, состоящая из пузырьков воздуха размером 50–100 мкм.

Выявленные закономерности могут быть использованы для изготовления отдельных кондитерских изделий, например, зефира или пастилы, характеризующихся высокой прочностью, заданной плотностью и другими физико-химическими и реологическими показателями.

4. Заключение

Формирование пенообразной структуры пастильных кондитерских изделий обусловлено пенообразующей спо-

собностью сухого яичного белка, пектина, сахара белого, фруктового пюре, патоки и органической кислоты.

Каждый рецептурный компонент необходим для создания устойчивой пенообразной структуры зефира с заданным соотношением свободной и связанной влаги.

Полученные результаты способствуют формированию пенообразной структуры зефирной массы с высокими физико-химическими, органолептическими и реологическими показателями, что позволит получать кондитерские изделия заданной формы высокого качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зверев, С.В., Карпов, В.И., Никитина, М.А. (2021). Оптимизация пищевых композиций по профилю идеального белка. *Пищевые системы*, 4(1), 4–11. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-4-11>
2. Вилкова, Н.Г. (2014). Свойства пен и методы их исследования. Пенза, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014
3. Xiao, N., Zhao, Y., Yao, Y., Wu, N., Xu, M., Du, H. et al. (2020). Biological activities of egg yolk lipids: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06616> (unpublished date)
4. Babaei, J., Khodaiyan, F., Mohammadian, M. (2019). Effects of enriching with gellan gum on the structural, functional, and degradation properties of egg white heat-induced hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.116>
5. Delahaije, R.J.B.M., Lech, F.J., Wierenga, P.A. (2019). Investigating the effect of temperature on the formation and stabilization of ovalbumin foams. *Food Hydrocolloids*, 91, 263–274. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.030>
6. Duan, X., Li, M., Shao, J., Chen, H., Xu, X., Jin, Z. et al. (2018). Effect of oxidative modification on structural and foaming properties of egg white protein. *Food Hydrocolloids*, 75, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.008>
7. Zhao, Y., Chen, Z., Li, J., Xu, M., Shao, Y., Tu, Y. (2016). Formation mechanism of ovalbumin gel induced by alkali. *Food Hydrocolloids*, 61, 390–398. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.041>
8. He, W., Xiao, N., Zhao, Y., Yao, Y., Xu, M., Du, H. et al. (2021). Effect of polysaccharides on the functional properties of egg white protein: A review. *Journal of Food Science*, 86(3), 656–666. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15651>
9. Cui, R., Zhu, F. (2021). Ultrasound modified polysaccharides: A review of structure, physicochemical properties, biological activities and food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 107, 491–508. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.018>
10. Wang, X., Yu, S., Wang, J., Yu, J., Arabi, M., Fu, L., Li, B. et al. (2020). Fluorescent nanosensor designing via hybrid of carbon dots and post-imprinted polymers for the detection of ovalbumin. *Talanta*, 211, Article 120727. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.120727>
11. Xiong, W., Ren, C., Tian, M., Yang, X., Li, J., Li, B. (2017). Complex coacervation of ovalbumin carboxymethylcellulose assessed by isothermal titration calorimeter and rheology: Effect of ionic strength and charge density of polysaccharide. *Food Hydrocolloids*, 73, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.031>
12. He, W., Xiao, N., Zhao, Y., Yao, Y., Xu, M., Du, H. et al. (2021). Effect of polysaccharides on the functional properties of egg white protein: A review. *Journal of Food Science*, 86(3), 656–666. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15651>
13. Yang, X., Li, A., Li, X., Sun, L., Guo, Y. (2020). An overview of classifications, properties of food polysaccharides and their links to applications in improving food textures. *Trends in Food Science and Technology*, 102, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.020>
14. Kontogiorgos, V. (2019). Polysaccharides at fluid interfaces of food systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 270, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.05.008>
15. Li, Z., Zheng, S., Zhao, C., Liu, M., Zhang, Z., Xu, W. et al. (2020). Stability, microstructural and rheological properties of Pickering emulsion stabilized by xanthan gum/lysozyme nanoparticles coupled with xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2387–2394. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.100>
16. Benelhadj, S., Gharsallaoui, A., Degraeve, P., Attia, H., Ghorbel, D. (2016). Effect of pH on the functional properties of Arthrospira (Spirulina) platensis protein isolate. *Food Chemistry*, 194, 1056–1063, Article 18081. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.133>
17. Van den Berg, M., Jara, F. L., Pilosof, A. M. (2015). Performance of egg white and hydroxypropylmethylcellulose mixtures on gelation and foaming. *Food Hydrocolloids*, 48, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.001>
18. Farjami, T., Madadlou, A. (2019). An overview on preparation of emulsion-filled gels and emulsion particulate gels. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.043>
19. Wang, W., Shen, M., Liu, S., Jiang, L., Song, Q., Xie, J. (2018). Gel properties and interactions of Mesona blumes polysaccharide-soy protein isolates mixed gel: The effect of salt addition. *Carbohydrate Polymers*, 192, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.064>
20. Zhao, Y., Cao, D., Shao, Y., Xiong, C., Li, J., Tu, Y. (2020). Changes in physico-chemical properties, microstructures, molecular forces and gastric digestive properties of preserved egg white during pickling with the regulation of different metal compounds. *Food Hydrocolloids*, 98, Article 105281. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105281>

REFERENCES

1. Zverev, S.V., Karpov, V.I., Nikitina, M.A. (2021). Optimization of food compositions according to the ideal protein profile. *Food systems*, 4(1), 4–11. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-4-11> (In Russian)
2. Vilkova, N.G. (2014). Properties of foams and methods for their study. Penza, Penza State University of Architecture and Construction, 2014. (In Russian)
3. Xiao, N., Zhao, Y., Yao, Y., Wu, N., Xu, M., Du, H. et al. (2020). Biological activities of egg yolk lipids: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06616> (unpublished date)
4. Babaei, J., Khodaiyan, F., Mohammadian, M. (2019). Effects of enriching with gellan gum on the structural, functional, and degradation properties of egg white heat-induced hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.116>
5. Delahaije, R.J.B.M., Lech, F.J., Wierenga, P.A. (2019). Investigating the effect of temperature on the formation and stabilization of ovalbumin foams. *Food Hydrocolloids*, 91, 263–274. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.030>
6. Duan, X., Li, M., Shao, J., Chen, H., Xu, X., Jin, Z. et al. (2018). Effect of oxidative modification on structural and foaming properties of egg white protein. *Food Hydrocolloids*, 75, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.008>
7. Zhao, Y., Chen, Z., Li, J., Xu, M., Shao, Y., Tu, Y. (2016). Formation mechanism of ovalbumin gel induced by alkali. *Food Hydrocolloids*, 61, 390–398. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.041>
8. He, W., Xiao, N., Zhao, Y., Yao, Y., Xu, M., Du, H. et al. (2021). Effect of polysaccharides on the functional properties of egg white protein: A review. *Journal of Food Science*, 86(3), 656–666. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15651>
9. Cui, R., Zhu, F. (2021). Ultrasound modified polysaccharides: A review of structure, physicochemical properties, biological activities and food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 107, 491–508. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.018>
10. Wang, X., Yu, S., Wang, J., Yu, J., Arabi, M., Fu, L., Li, B. et al. (2020). Fluorescent nanosensor designing via hybrid of carbon dots and post-imprinted polymers for the detection of ovalbumin. *Talanta*, 211, Article 120727. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.120727>
11. Xiong, W., Ren, C., Tian, M., Yang, X., Li, J., Li, B. (2017). Complex coacervation of ovalbumin carboxymethylcellulose assessed by isothermal titration calorimeter and rheology: Effect of ionic strength and charge density of polysaccharide. *Food Hydrocolloids*, 73, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.031>
12. He, W., Xiao, N., Zhao, Y., Yao, Y., Xu, M., Du, H. et al. (2021). Effect of polysaccharides on the functional properties of egg white protein: A review. *Journal of Food Science*, 86(3), 656–666. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15651>
13. Yang, X., Li, A., Li, X., Sun, L., Guo, Y. (2020). An overview of classifications, properties of food polysaccharides and their links to applications in improving food textures. *Trends in Food Science and Technology*, 102, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.020>

14. Kontogiorgos, V. (2019). Polysaccharides at fluid interfaces of food systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 270, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.05.008>
15. Li, Z., Zheng, S., Zhao, C., Liu, M., Zhang, Z., Xu, W. et al. (2020). Stability, microstructural and rheological properties of Pickering emulsion stabilized by xanthan gum/lysozyme nanoparticles coupled with xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2387–2394. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.100>
16. Benelhadj, S., Gharsallaoui, A., Degraeve, P., Attia, H., Ghorbel, D. (2016). Effect of pH on the functional properties of *Arthrospira* (Spirulina) platensis protein isolate. *Food Chemistry*, 194, 1056–1063, Article 18081. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.133>
17. Van den Berg, M., Jara, F. L., Pilosof, A. M. (2015). Performance of egg white and hydroxypropylmethylcellulose mixtures on gelation and foaming. *Food Hydrocolloids*, 48, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.001>
18. Farjami, T., Madadlou, A. (2019). An overview on preparation of emulsion-filled gels and emulsion particulate gels. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.043>
19. Wang, W., Shen, M., Liu, S., Jiang, L., Song, Q., Xie, J. (2018). Gel properties and interactions of Mesona blumes polysaccharide-soy protein isolates mixed gel: The effect of salt addition. *Carbohydrate Polymers*, 192, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.064>
20. Zhao, Y., Cao, D., Shao, Y., Xiong, C., Li, J., Tu, Y. (2020). Changes in physico-chemical properties, microstructures, molecular forces and gastric digestive properties of preserved egg white during pickling with the regulation of different metal compounds. *Food Hydrocolloids*, 98, Article 105281. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105281>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Казанцев Егор Валерьевич — научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-926-545-32-76 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8923-0029 * автор для контактов	Egor V. Kazantsev, researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-926-545-32-76 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8923-0029 * corresponding author
Кондратьев Николай Борисович — доктор технических наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-963-54-75 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-332-9621	Nikolay B. Kondratev, doctor of technical sciences, chief researcher, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-963-54-75 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-332-9621
Руденко Оксана Сергеевна — кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-962-17-40 E-mail: oxana0910@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2436-4100	Oxana S. Rudenko, candidate of technical sciences, deputy director, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-962-17-40 E-mail: oxana0910@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2436-4100
Петрова Наталья Александровна — научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-962-17-40 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8475-1415	Natalya A. Petrova, researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-962-17-40 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8475-1415
Белова Ирина Александровна — научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-962-17-40 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8025-952x	Irina A. Belova, researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-962-17-40 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8025-952x
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/10.21323/2618-9771-2022-5-1-70-76>

Поступила 24.02.2022

Поступила после рецензирования 18.03.2022

Принята в печать 25.03.2022

© Полубесова М. А., Новикова (Захарова) М. В., Рябухин Д. С., 2022



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

Научная статья

Open access

ЭНТОМОФАГИЯ: БЕЗОПАСНО ЛИ УПОТРЕБЛЯТЬ В ПИЩУ НАСЕКОМЫХ?

Полубесова М. А.*, Новикова (Захарова) М. В., Рябухин Д. С.

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок, Санкт-Петербург, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

потребительское поведение, заменитель мяса, готовность есть, пищевая безопасность, съедобные насекомые, энтомофагия, потребители, продукты питания

АННОТАЦИЯ

Съедобные насекомые являются перспективным продуктом для пищевой индустрии России. Это обусловлено их высокой питательной ценностью, наличием в составе незаменимых аминокислот, полезных омега-3 и омега-6 полиненасыщенных жирных кислот. Сбалансированное содержание макро- и микроэлементов в составе такого продукта позволяет говорить о его потенциальной пользе для здоровья человека. Однако в настоящее время отсутствуют достоверные сведения об отношении граждан России к употреблению насекомых в пищу. Взрослое население придерживается более традиционных взглядов на питание, предпочитая проверенные виды продуктов в своей потребительской корзине. В результате проведенного исследования установлено, что женщины в 1,5 раза чаще высказывают опасения о небезопасном употреблении насекомых по сравнению с мужчинами и в целом более негативно настроены к энтомофагии (употреблению в пищу насекомых и изготовленных из них продуктов). С другой стороны, мужчины в большей степени предполагают, что среди населения не готовы попробовать продукты питания из насекомых, поскольку люди не уверены в их безопасности. С точки зрения женщин, потребители обеспокоены отсутствием доступной научной информации по данной теме и считают этот вопрос недостаточно изученным. Среди всех респондентов 80% ответили, что телесообщение о пользе насекомых для здоровья не изменит их отношения к энтомофагии. Более того, 44% опрошенных считают нецелесообразным открытие производств съедобных насекомых в России. Данное суждение согласуется с их мнением насчет низкой безопасности продуктов питания из насекомых. Женщины в два раза чаще отрицательно отвечали на вопрос о разрешении производства съедобных насекомых в России, по сравнению с мужчинами.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS 2022-0017 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 24.02.2022

Accepted in revised 18.03.2022

Accepted for publication 25.03.2022

© Polubesova M. A., Novikova (Zakharova) M. V., Ryabukhin D. S., 2022

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

Original scientific article

Open access

ENTOMOPHAGY: ARE INSECTS SAFE FOR HUMAN FOOD?

Mariia A. Polubesova*, Mariia V. Novikova (Zakharova), Dmitriy S. Ryabukhin

All-Russian Research Institute for Food Additives, St. Petersburg, Russia

KEY WORDS:

consumer behavior, meat substitute, willingness to eat, food safety, edible insects, entomophagy, consumers, foodstuffs

ABSTRACT

Edible insects are a promising product for the Russian food market. This is due to their high nutritional value, the presence of essential amino acids, useful omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids. The balanced content of macro- and microelements in the composition of such a product allows us to talk about its potential benefits for human health. However, at present there is no reliable information about the attitude of Russian citizens to eating insects. The adult population has a more traditional view of nutrition, preferring proven types of food in their consumer basket. As a result of the study, it was found that women are 50% more likely to express concerns about the safety of edible insects compared to men and, in general, are more negatively disposed towards entomophagy (edible insects and products made from them). On the other hand, men are more likely to assume that the population is not ready to try insect foods because people are not sure of their safety. From the point of view of women, consumers are concerned about the lack of available scientific information on this topic and consider this issue to be insufficiently studied. Among all respondents, 80% answered that a TV report on the health benefits of edible insects would not change their attitude towards entomophagy. Moreover, 44% of respondents consider it inexpedient to open production facilities for edible insects in Russia. This judgment is consistent with their opinion about the low safety of food from insects. Women were twice as likely to respond negatively to the question about permitting the production of edible insects in Russia compared to men.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS 2022-0017 of the state assignment of the V. M. Gorbakov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Полубесова, М. А., Новикова (Захарова), М. В., Рябухин, Д. С. (2022). Энтомофагия: безопасно ли употреблять в пищу насекомых? *Пищевые системы*, 5(1), 70-76. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-70-76>

FOR CITATION: Polubesova, M. A., Novikova (Zakharova), M. V., Ryabukhin, D. S., (2022). Entomophagy: are insects safe for human food? *Food systems*, 5(1), 70-76. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-70-76>

1. Введение

Увеличение населения планеты и негативное влияние антропогенных факторов на экологию, эрозия и истощение земель, нехватка новых территорий под сельхозугодия приводят к поиску эффективных решений в области безопасных пищевых и биотехнологий [1]. Одним из таких вариантов может выступить предложение об использовании съедобных насекомых в качестве альтернативного источника белков, жиров и хитозана. Согласно литературным данным, в современном мире насчитывается около 2000 видов съедобных насекомых, которые являются традиционным источником пищи для африканских, азиатских и латиноамериканских стран [2]. Насекомые имеют высокую питательную ценность, а их белок не уступает по своим качественным характеристикам мясу животного происхождения [3, 4]. Употребление продуктов из насекомых, содержащих в своем составе незаменимые аминокислоты, калий, полиненасыщенные жирные кислоты, способствует положительному воздействию на здоровье человека, при этом данный эффект будет выше, чем при применении говядины или свинины [5]. Компоненты съедобных насекомых способны улучшить состояние желудочно-кишечного тракта, они оказывают противовоспалительное и антиоксидантное действие, а также снижают риск развития сердечно-сосудистых заболеваний. Витамины и минералы, содержащиеся в насекомых, способствуют умственному развитию и укреплению костной системы человека [6]. Более того, масштабирование производства съедобных насекомых может благоприятно влиять на окружающую среду, так как расход сырья на килограмм готового белка при их производстве требует намного меньших ресурсов, чем, например, разведение традиционных сельскохозяйственных животных [7]. Сами насекомые способны перерабатывать органические отходы, выделяя при этом меньшее количество свалочного газа, по сравнению с методом компостирования [8].

Европейское агентство по безопасности продуктов питания (EFSA) в 2021 году разрешило употреблять в пищу мучного червя (*Tenebrio Molitor*) и перелетную саранчу (*Locusta Migratoria*) [9,10]. Французская компания *Ynsect*, занимающаяся производством кормовых добавок и удобрений на основе мучного червя с 2016 года, планирует запустить крупнейшую в мире вертикальную ферму по выращиванию насекомых уже в этом году [11]. Возводимая ферма будет производить до 100 тыс. тонн муки и жира из насекомых в год, чтобы удовлетворить растущий спрос на продовольствие и кормовые добавки. Успешный опыт зарубежных производителей вызывает интерес у российских инвесторов, в связи с чем количество публикаций в СМИ и научных журналах, посвященных съедобным и кормовым насекомым, значительно увеличилось [12–15]. Интерес к исследованию и разработке технологий разведения и переработки насекомых активно поддерживается на государственном уровне. Однако в Российской Федерации стандарты качества по производству съедобных насекомых, а также требования к готовой продукции из них совершенно не прорабатываются. Несмотря на это, можно предположить, что это произойдет в обозримом будущем.

Тем не менее в настоящее время вопрос о безопасности употребления съедобных насекомых до сих пор остается дискуссионным [1]. В качестве основных опасений, связанных с употреблением насекомых в пищу, выделяют возможное наличие патогенных организмов, тяжелых металлов и аллергенов. Исследование микробиологической безопасности таких насекомых, как зофобас (*Zophobas morio*), большой мучной хрущак (*Tenebrio molitor*), большая восковая моль (*Galleria mellonella*) и домовая сверчок (*Acheta domesticus*),

выявило высокое содержание микроорганизмов (от 10^5 до 10^6 КОЕ/г), в основном состоящих из грамположительных бактерий, таких как микрококки (*Micrococcus spp.*), лактобациллы (*Lactobacillus spp.*) (до 10^5 КОЕ/г) и стафилококки (*Staphylococcus spp.*) (примерно 10^3 КОЕ/г) [16]. Исходя из этого, существует необходимость снизить вероятность возникновения неблагоприятных событий за счет оптимизации технологических процессов [1, 16, 17]. Например, использовать в качестве основы для разведения и переработки насекомых по всему миру методы выращивания насекомых, характерные для стран, где употребление насекомых является традиционным [18].

Несмотря на распространении энтомофагии во многих странах мира, в европейских и других промышленно развитых государствах все еще существует большое количество предубеждений, связанных с поеданием насекомых [18]. Более того, стремление к подражанию западным странам привело к снижению потребления насекомых в Ботсване, Индии и Камеруне. Это можно связать с тем, что энтомофагия ассоциируется с первобытным образом жизни, так как история употребления насекомых ведет свой отсчет со времен возникновения человечества. Среди других причин отказа от употребления насекомых выделяют отвращение и опасения насчет возможного вреда для здоровья. Эти причины тесно связаны между собой, так как людям свойственно оценивать безопасность пищевых продуктов, визуально опираясь на предыдущий опыт взаимодействия. Внешний вид насекомых, наличие их кусочков в продуктах питания и даже изображение на упаковке наиболее часто вызывают отвращение у потребителей [18]. Это приводит к определению продукта как опасного и к отказу от его употребления [19]. В работе [20] более 70% респондентов из России назвали неприязнь к насекомым основным ограничивающим фактором энтомофагии. Снизить влияние визуального фактора возможно при использовании продуктов переработки съедобных насекомых, которые вызывают меньшее количество негативных ассоциаций у потребителей [21].

Тем не менее даже при условии, что отвращение к насекомым будет снижено, безопасность их употребления все еще вызывает опасения [20, 22, 23]. Согласно предыдущим исследованиям, более 50% опрошенных россиян назвали отсутствие данных о безопасности и ассоциацию насекомых с загрязнениями главными причинами отказа от энтомофагии [20]. Итальянские респонденты посчитали внешний вид первой причиной возможного отказа от употребления насекомых, после чего высказали сомнения о безопасности съедобных насекомых [18]. Исследования, проведенные в Польше и Австралии, выявили, что безопасность оказывает значительное влияние на желание респондентов попробовать съедобных насекомых [24, 25].

Среди других факторов, влияющих на желание пробовать съедобных насекомых, выделяют пол, возраст и уровень образования [18, 25]. Вероятность попробовать съедобных насекомых у людей с высшим образованием в 8 раз выше, чем у респондентов с более низким уровнем образования [18]. Между тем возраст неоднозначно влияет на predisposition к энтомофагии — молодые люди более склонны пробовать съедобных насекомых, по сравнению со взрослыми [26]. С другой стороны, респонденты возрастной группы от 26 лет и старше менее неохотно и в большей степени готовы пробовать продукты из насекомых, в отличие от группы людей младше 25 лет [27]. Такие различия можно связать с индивидуальным восприятием энтомофагии, основанном на личном опыте респондентов. Достаточно сильно выражено различие во мнениях мужчин и женщин в отношении поедания насекомых [21, 25, 28]. Согласно этим исследовани-

ям, мужчины относятся к употреблению насекомых в пищу более лояльно, чем женщины, однако причины этой взаимосвязи недостаточно изучены. Например, в работе Niva M. и Vainio A. [29] выявлено, что женщины чаще отдают предпочтение альтернативным источникам белков, в том числе продуктам из насекомых, по сравнению с мужчинами. Тем не менее мужчины могут испытывать меньше отвращения к насекомым, поскольку вкус для них является более значимым показателем, чем внешний вид и уровень обработки насекомых [30].

Согласно вышеизложенному, пол и возраст людей влияют на их отношение к энтомофагии, однако, степень этого влияния до сих пор остается предметом обсуждения. Предполагается, что население старше 45 лет имеет устоявшиеся предпочтения в выборе продуктов питания [31]. В связи с этим целью данного исследования является определение отношения граждан России в возрасте от 45 лет к употреблению съедобных насекомых в зависимости от их пола, а также определение возможности изменения этого мнения под влиянием телевидения.

2. Объекты и методы

В проведенном исследовании респондентам предложено пройти опрос в Google-Форме, посвященный различным аспектам энтомофагии, из которого для настоящего исследования выбраны следующие вопросы: *ваш пол, ваш возраст, ваше место жительства; «Считаете ли Вы, что еда из насекомых безопасна?», «Готовы ли Вы попробовать съедобных насекомых, если услышите по телевизору, что это очень полезно?», «Как Вы думаете, почему люди не готовы пробовать насекомых?», «Как Вы считаете, нужно ли разрешать в России производство съедобных насекомых?»*. Вопрос *«Как Вы думаете, почему люди не готовы пробовать насекомых?»* содержал несколько вариантов ответа, из которых для текущего исследования были выбраны *«Они думают, что это негативно отразится на их здоровье»* и *«Они считают, что эта тема недостаточно изучена»*. Опрос распространялся через социальные сети Вконтакте, Instagram, видеохостинг YouTube, в мессенджерах Telegram и WhatsApp, а также при помощи разработанного QR-кода. Полученные ответы были обработаны с помощью программного обеспечения Microsoft Excel версии 16.58 и Adobe Photoshop версии 20.0.7.

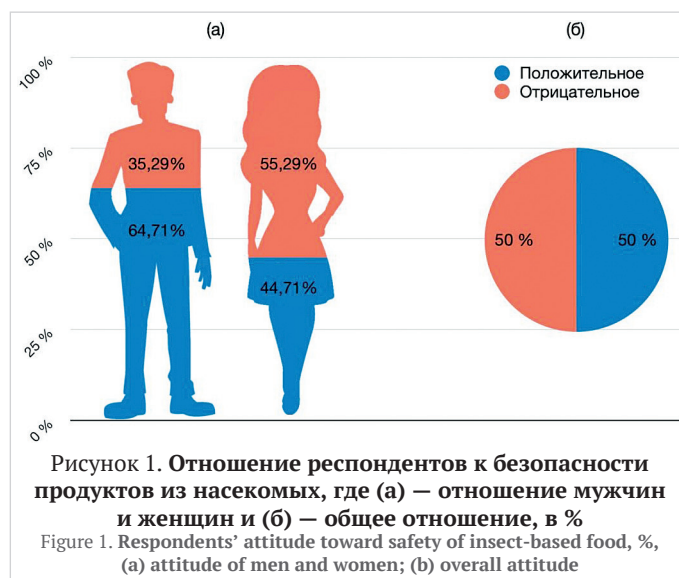
Проведенное исследование охватило 800 респондентов, из которых методом сортировки в Microsoft Excel были отобраны 119 человек в возрасте 45 лет и старше. Из выбранных респондентов доля мужчин составила 28,57%, женщин — 71,43%. Различия ответов мужчин и женщин анализировали при помощи функции СЧЕТЕСЛИ и СЧЕТЕСЛИМН в Microsoft Excel.

Географически исследование охватило Москву, Санкт-Петербург, Центральный (кроме Москвы), Северо-Западный (кроме Санкт-Петербурга), Южный, Северо-Кавказский, Приволжский, Уральский, Сибирский, Дальневосточный федеральные округа, а также жителей зарубежья, владеющих русским языком.

3. Результаты и обсуждение

Респондентам был задан вопрос *«Считаете ли Вы, что еда из насекомых безопасна?»* с возможными вариантами ответа «да» и «нет». По результатам опроса, мнение отвечающих, вне зависимости от их пола, разделилось (Рисунок 1): половина всех опрошенных считает использование насекомых в качестве источника пищи безопасным, другая половина — нет. Далее ответы респондентов проанализированы с учетом их пола. Установлено, что женщины относятся к безопасности употребления насекомых в пищу более

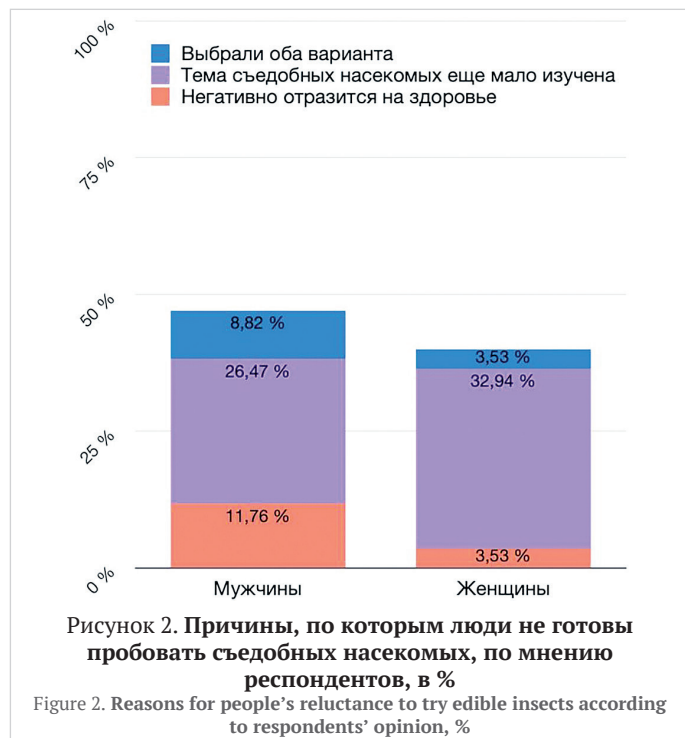
настороженно, чем мужчины. Более половины всех опрошенных женщин заявили, что, по их мнению, продукты питания из насекомых небезопасны, в то время как большинство опрошенных мужчин считают их безопасными.



Предположительно, женщины испытывают более сильное отвращение к насекомым, а также чаще ассоциируют их с вредителями и гниением, что, в конечном итоге, влияет на отношение к безопасности таких продуктов. Более того, в России чаще всего именно женщины занимаются домашним хозяйством, поэтому негативное восприятие связано с нежеланием готовить дома блюда из насекомых для своей семьи. Также женщины более озабочены возникновением аллергических реакций на новый продукт, по сравнению с мужчинами.

Ответы на вопрос *«Как Вы думаете, почему люди не готовы пробовать насекомых?»* могут прояснить возможные причины отказа от употребления насекомых с точки зрения стороннего наблюдателя. В проведенном исследовании учитывались только ответы *«Они думают, что это негативно отразится на их здоровье»* и *«Они считают, что эта тема недостаточно изучена»*, а также выбор обоих вариантов ответа (Рисунок 2). Несмотря на то, что мужчины в целом относятся к безопасности употребления насекомых более лояльно, они намного чаще высказывали мнение, что безопасность может являться одной из ограничивающих причин для других людей, по сравнению с женщинами. По результатам исследования, 11,76% опрошенных мужчин ответили, что люди не хотят пробовать съедобных насекомых, так как они считают, что это может негативно отразиться на их здоровье; среди женщин такой ответ дали всего 3,53%. Большая часть респондентов считают, что нежелание других людей пробовать насекомых связано с тем, что эта тема еще недостаточно изучена. Среди опрошенных женщин такой ответ дали 32,94%, а среди мужчин — 26,47%. В проведенном исследовании оба варианта ответа выбрали 8,82% мужчин и 3,53% женщин. В целом, чуть менее половины всех опрошенных респондентов сослались на отсутствие научных данных и согласились с вопросами о безопасности, которые являются ключевыми аспектами при принятии решения по употреблению насекомых другими людьми. Оставшиеся респонденты предложили другие варианты, не рассматриваемые в данном исследовании. Действительно, количество научных публикаций, посвященных съедобным насекомым, в России в настоящее время ограничено. Поэтому увеличение количества и качества доступной информации по тема-

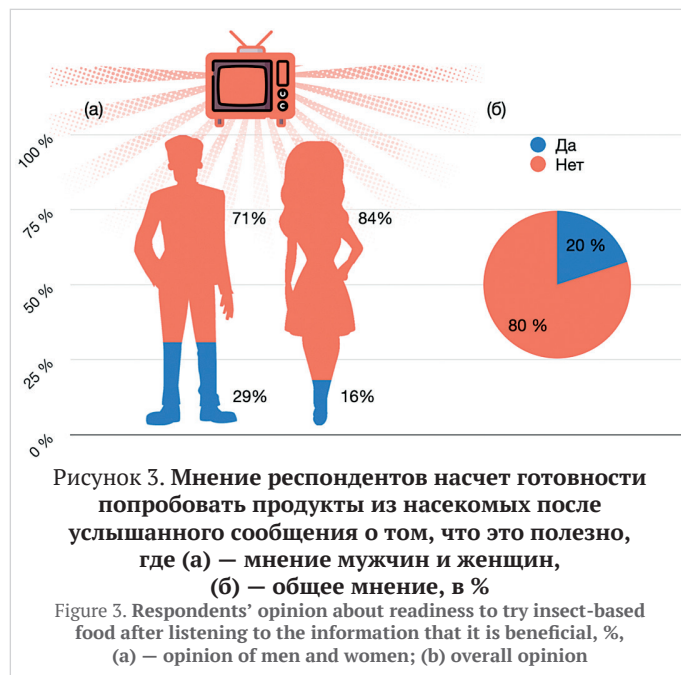
тике съедобных насекомых может положительно отразиться на отношении к энтомофагии у населения РФ. Данное предположение согласуется с результатами исследования [28], где подтверждено, что предоставление информации о продуктах питания из насекомых положительно повлияло на отношение к энтомофагии. Интересным представляется использование информационных дегустационных сессий, во время которых до потребителя доводится не только актуальная информация по теме, но и возможность оценить внешний вид, вкус и другие характеристики продуктов из насекомых [32].



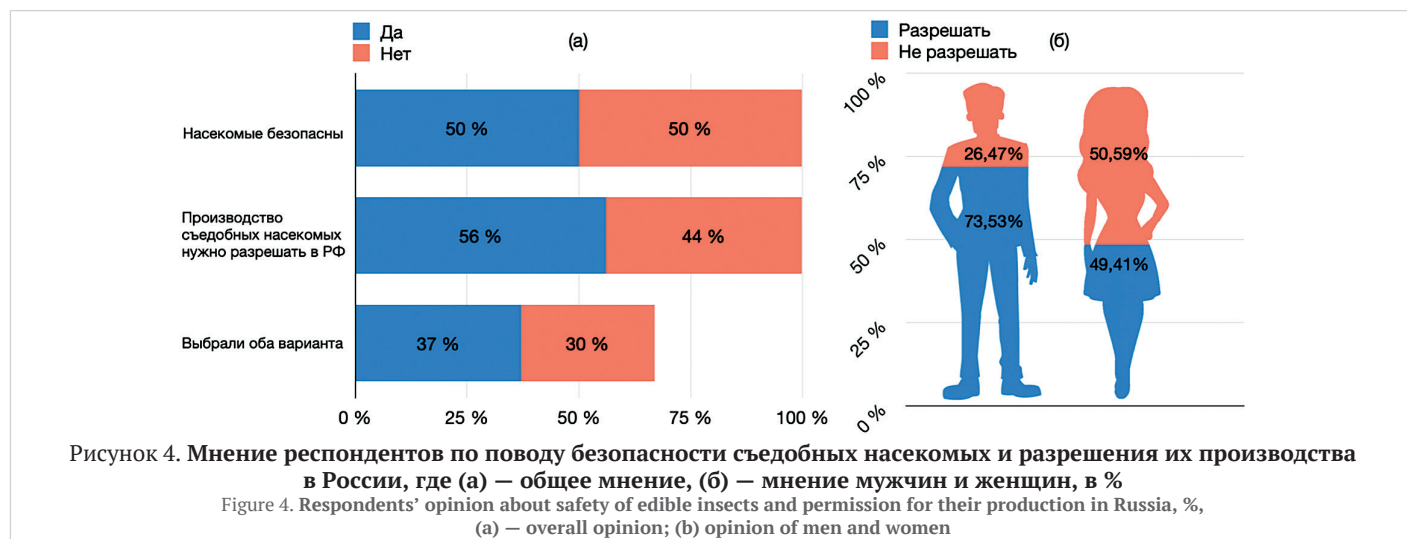
В рамках данного исследования респондентам было предложено ответить на вопрос «Готовы ли Вы попробовать съедобных насекомых, если услышите по телевизору, что это очень полезно?». В качестве канала маркетинговых коммуникаций было выбрано телевидение, поскольку, согласно исследованию Mediascore, проведенному в 2021 году, 97% населения РФ хотя бы раз в месяц смотрит телевизор, при этом люди в возрасте от 45 лет смотрят его чаще других возрастных групп. Суточный охват среди телезрителей 45 лет и старше составляет $\geq 75\%$, в среднем они тратят более

250 минут в день на просмотр телевизора [33]. Более того, в исследовании, проведенном в Бельгии [28], большинство респондентов узнавали информацию об употреблении съедобных насекомых именно при помощи телевидения.

По результатам опроса, 84% женщин не готовы пробовать продукты из насекомых, такого же мнения придерживаются 71% опрошенных мужчин (Рисунок 3). Около 20% всех опрошенных заявили, что информация по телевидению о пользе насекомых положительно отразится на их восприятии. Несмотря на это, количество таких людей, скорее всего, будет значительно больше.



Респондентам предлагали ответить на вопрос «Как Вы считаете, нужно ли разрешать в России производство съедобных насекомых?» с возможными вариантами ответа «да» и «нет». Среди общего количества ответивших 44% высказались в пользу запрета на производство съедобных насекомых в России (Рисунок 4). Тем не менее мужчины придерживаются запрета в два раза реже, чем женщины, более половины из которых считают, что не следует разрешать производство продуктов питания из насекомых в России. Можно предположить, что эти результаты связаны с опасениями респондентов насчет безопасности употребления насекомых в пищу. Действительно, при обработке данных



выявлена зависимость между мнением респондентов о безопасности продуктов из насекомых и мнением о разрешении на их производство. Около 30% опрошенных посчитали продукты из насекомых небезопасными и одновременно с этим отказались от размещения производств в России. С другой стороны, 37% респондентов положительно высказались по вопросам безопасности насекомых и строительства ферм по их выращиванию.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что отношение к съедобным насекомым сильно зависит от пола респондента, так как во всех случаях женщины в 1,5–2 раза более негативно настроены по этому вопросу, чем мужчины. Предполагается, что отношение людей к энтомофагии может поменяться в будущем благодаря увеличению количества научных исследований и предоставлению потенциальным потребителям актуальной информации в доступной для них форме. Данный вывод согласуется с исследованием [34], согласно которому один из путей повышения благосклонности потребителей к съедобным насекомым основан на коммуникациях и предполагает предоставление потенциальным потребителям информации о безопасном использовании съедобных насекомых как источника питания. Niva M. и Vainio A. сообщают [29], что благоприятное воздействие на здоровье от употребления насекомых в пищу выступает важным фактором, способным повысить спрос на альтернативные продукты питания.

4. Заключение

По результатам проведенного исследования получены следующие выводы:

1. Мужчины относятся к безопасности продуктов из насекомых лояльнее, чем женщины. Такая тенденция прослеживается во всех обработанных ответах. Вероятно, женщины испытывают больше отвращения к насекомым,

что значительно увеличивает степень их негативного восприятия к новым пищевым продуктам.

2. Около 30% опрошенных мужчин и женщин отмечали отсутствие достаточного количества научной информации о съедобных насекомых, считая это возможной причиной отказа от их употребления другими людьми. Исходя из этого, первой рекомендацией можно сформулировать предложение о проведении новых научных исследований в данной области и об увеличении количества публикаций в различных каналах СМИ.
3. Телевидение как канал маркетинговых коммуникаций, по мнению респондентов, незначительно способен повлиять на их мнение в отношении продуктов из насекомых. Поскольку данный вывод не является действительным отражением эффективности данного канала коммуникации, можно предположить, что при грамотном построении телепрограмм и передач мнение населения о продуктах питания из насекомых изменится в положительную сторону.
4. Женщины в большей степени, чем мужчины, считают, что производство съедобных насекомых не нужно разрешать в России. Это согласуется с результатами вопроса об отношении к безопасности таких продуктов питания. Отсюда можно сделать предположение, что по мере повышения доверия к продуктам питания на основе насекомых будет увеличиваться количество людей, одобряющих производство таких продуктов. Для этого необходимо разработать наиболее безопасные с точки зрения потенциальных потребителей вид и упаковку продуктов, а также предоставить актуальную информацию, подкрепленную результатами научных исследований. Дальнейшее изучение этой темы также поможет в формировании нормативно-правовой базы в России и поспособствует регистрации съедобных насекомых как продукта питания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C.C., Paoletti, M.G., Ricci, A. (2013). Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), 296–313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
2. Baiano, A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science and Technology*, 100, 35–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>
3. Melgar-Lalanne, G., Hernández-Álvarez, A.-J., Salinas-Castro, A. (2019). Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1166–1191. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12463>
4. Raheem, D., Raposo, A., Oluwale, O. B., Nieuwland, M., Saraiva, A., Carrascosa, C. (2019). Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Food Research International*, 126, Article 108672. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108672>
5. Godfray, H. C. J. (2019). Meat: The future series-alternative proteins. *World Economic Forum*. 1–31.
6. Nowakowski, A. C., Miller, A. C., Miller, M. E., Xiao, H., Wu, X. (2021). Potential health benefits of edible insects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867053>
7. Imathiu, S. (2020). Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS Journal*, 18, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.11.002>
8. Borrello, M., Caracciolo, F., Lombardi, A., Pascucci, S., Cembalo, L. (2017). Consumers' perspective on circular economy strategy for reducing food waste. *Sustainability*, 9(1), Article 141. <https://doi.org/10.3390/su9010141>
9. Turck, D., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Kearney, J., Maciuk, A. et al. EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA). (2021). Safety of frozen and dried formulations from migratory locust (*Locustimigratoria*) as a novel food pursuant to regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(7), Article e06667. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6667>
10. Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Maciuk, A. et al. EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA). (2021). Safety of frozen and dried formulations from whole yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(8), Article e06778. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6778>
11. Ynsect. Retrieved from <http://www.ynsect.com/en/Accessed March 09, 2022>
12. Еда из насекомых: главный тренд мирового FoodTech-рынка. Электронный ресурс: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/5f849de69a794721c98cc185> Дата обращения 18. 02. 22
13. Еда будущего: Евросоюз одобрил сверчков в качестве альтернативы мясу Электронный ресурс: <https://www.kp.ru/daily/27365/4546538/> Дата обращения 22. 02. 22
14. Gorbunova, N.A., Zakharov, A. N. Edible insects as a source of alternative protein. A review. *Theory and practice of meat processing*, 6(1), 23–32. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2021-6-1-23-32>
15. Рудаков, О. Б., Рудакова, Л. В. (2019). Съедобные насекомые — альтернатива животному белку. *Мясные технологии*, 11(203), 16–19. <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2019-11-18-21>
16. Mézes, M. (2018). Food safety aspect of insects: A review. *Acta Alimentaria*, 47(4), 513–522. <https://doi.org/10.1556/066.2018.47.4.15>
17. Belluco, S., Mantovani, A., Ricci, A. (2018). Edible insects in a food safety perspective. Chapter in a book: *In Edible insects in sustainable food systems*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_7
18. Cicatiello, C., Rosa, B.G., Franco, S.D., Lacetera, N. (2016). Consumer approach to insects as food: barriers and potential for consumption in Italy. *British Food Journal*, 118, 2271–2286. <https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2016-0015>
19. Awasthi, B. (2021). The shifting psychology of food safety: from sensory evaluation to a cognitive assessment. Sensory evaluation of food safety. Preprint, 1–19. <https://doi.org/10.31234/osf.io/d3g6n>
20. Castro, M., Chambers, E. IV. (2019). Consumer avoidance of insect containing Foods: primary emotions, perceptions and sensory characteristics driving consumers considerations. *Foods*, 8(8), Article 351. <https://doi.org/10.3390/foods8080351>
21. Orsi, L., Voegelé, L. L., Stranieri, S. (2019). Eating edible insects as sustainable food? Exploring the determinants of consumer acceptance in Germany. *Food Research International*, 125, Article 108573. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108573>

22. Ardoin, R., Prinyawiwatkul, W. (2020). Product appropriateness, willingness to try and perceived risks of foods containing insect protein powder: A survey of US consumers. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3215–3226. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14612>
 23. Liu, A. -J., Li, J., Gómez, M. I. (2020). Factors influencing consumption of edible insects for Chinese consumers. *Insects*, 11(1), Article 10. <https://doi.org/10.3390/insects11010010>
 24. Orkus, A., Wolańska, W., Harasym, J., Piwowar, A., Kapelko, M. (2020). Consumers' attitudes facing entomophagy: Polish case perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), Article 2427. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072427>
 25. Wilkinson, K., Muhlhausler, B., Motley, C., Crump, A., Bray, H., Ankeny, R. (2018). Australian Consumers' Awareness and Acceptance of Insects as Food. *Insects*, 9(2), Article 44. <https://doi.org/10.3390/insects9020044>
 26. Laureati, M., Proserpio, C., Jucker, C., Savoldelli, S. (2016). New sustainable protein sources: Consumers' willingness to adopt insects as feed and food. *Italian Journal of Food Science*, 28(4), 652–668.
 27. Caparros Megido, R., Sablon, L., Geuens, M., Brostaux, Y., Alabi, T., Blecker, C. et al. (2014). Edible insects acceptance by Belgian consumers: promising attitude for entomophagy development. *Journal of Sensory Studies*, 29(1), 14–20. <https://doi.org/10.1111/joss.12077>
 28. Barsics, F., Megido, R. C., Brostaux, Y., Barsics, C., Blecker, C., Haubruge, E. et al. (2017). Could new information influence attitudes to foods supplemented with edible insects? *British Food Journal*, 119(9), 2027–2039. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2016-0541>
 29. Niva, M., Vainio, A. (2021). Towards more environmentally sustainable diets? Changes in the consumption of beef and plant- and insect-based protein products in consumer groups in Finland. *Meat Science*, 182, Article 108635. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108635>
 30. Tuccillo, F., Marino, M. G., Torri, L. (2020). Italian consumers' attitudes towards entomophagy: Influence of human factors and properties of insects and insect-based food. *Food Research International*, 137, Article 109619. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109619>
 31. Barska, A. Wojciechowska-Solis, J. (2018). Traditional and regional food as seen by consumers — research results: the case of Poland. *British Food Journal*, 120(9), 1994–2004. <https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2018-0054>
 32. Mancini, S., Sogari, G., Menozzi, D., Nuvoloni, R., Torracca, B., Moruzzo, R., Paci, G. (2019). Factors predicting the intention of eating an insect-based product. *Foods*, 8(7), Article 8070270. <https://doi.org/10.3390/foods8070270>
 33. Mediascope. Retrieved from <https://mediascope.net/> Accessed March 10, 2022
 34. Sidali, K. L., Pizzo, S., Garrido-Pérez, E. I., Schamel, G. (2019). Between food delicacies and food taboos: A structural equation model to assess Western students' acceptance of Amazonian insect food. *Food Research International*, 115, 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.027>
- ## REFERENCES
1. Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C.C., Paoletti, M.G., Ricci, A. (2013). Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), 296–313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
 2. Baiano, A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science and Technology*, 100, 35–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>
 3. Melgar-Lalanne, G., Hernández-Álvarez, A.-J., Salinas-Castro, A. (2019). Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1166–1191. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12463>
 4. Raheem, D., Raposo, A., Oluwale, O. B., Nieuwland, M., Saraiva, A., Carrascosa, C. (2019). Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Food Research International*, 126, Article 108672. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108672>
 5. Godfray, H. C. J. (2019). Meat: The future series-alternative proteins. *World Economic Forum*. 1–31.
 6. Nowakowski, A. C., Miller, A. C., Miller, M. E., Xiao, H., Wu, X. (2021). Potential health benefits of edible insects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867053>
 7. Imathiu, S. (2020). Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS Journal*, 18, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.11.002>
 8. Borrello, M., Caracciolo, F., Lombardi, A., Pascucci, S., Cembalo, L. (2017). Consumers' perspective on circular economy strategy for reducing food waste. *Sustainability*, 9(1), Article 141. <https://doi.org/10.3390/su9010141>
 9. Turck, D., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Kearney, J., Maciuk, A. et al. EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA). (2021). Safety of frozen and dried formulations from migratory locust (*Locustimigratoria*) as a novel food pursuant to regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(7), Article e06667. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6667>
 10. Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Maciuk, A. et al. EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA). (2021). Safety of frozen and dried formulations from whole yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(8), Article e06778. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6778>
 11. Ynsect. Retrieved from <http://www.ynsect.com/en/Accessed March 09, 2022>.
 12. Edible Insects: the main trend of the global FoodTech market Retrieved from <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/5f849de69a794721c98cc185> Accessed February 18, 2022 (In Russian)
 13. Future food: The European Union approved crickets as an alternative to meat. Retrieved from <https://www.kp.ru/daily/27365/4546538/> Accessed February 22, 2022 (In Russian)
 14. Gorbunova, N.A., Zakharov, A. N. Edible insects as a source of alternative protein. A review. *Theory and Practice of Meat Processing*, 6(1), 23–32. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2021-6-1-23-32>
 15. Rudakov, O. B., Rudakova, L. V. (2019). Edible Insects — an alternative to animal protein. *Meat Technologies*, 11(203), 16–19. <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2019-11-18-21> (In Russian)
 16. Mézes, M. (2018). Food safety aspect of insects: A review. *Acta Alimentaria*, 47(4), 513–522. <https://doi.org/10.1556/066.2018.47.4.15>
 17. Belluco, S., Mantovani, A., Ricci, A. (2018). Edible insects in a food safety perspective. Chapter in a book: In Edible insects in sustainable food systems. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_7
 18. Cicatiello, C., Rosa, B.G., Franco, S.D., Lacetera, N. (2016). Consumer approach to insects as food: barriers and potential for consumption in Italy. *British Food Journal*, 118, 2271–2286. <https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2016-0015>
 19. Awasthi, B. (2021). The shifting psychology of food safety: from sensory evaluation to a cognitive assessment. Sensory evaluation of food safety. Preprint, 1–19. <https://doi.org/10.31234/osf.io/d3g6n>
 20. Castro, M., Chambers, E. IV. (2019). Consumer avoidance of insect containing Foods: primary emotions, perceptions and sensory characteristics driving consumers considerations. *Foods*, 8(8), Article 351. <https://doi.org/10.3390/foods8080351>
 21. Orsi, L., Voegel, L. L., Stranieri, S. (2019). Eating edible insects as sustainable food? Exploring the determinants of consumer acceptance in Germany. *Food Research International*, 125, Article 108573. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108573>
 22. Ardoin, R., Prinyawiwatkul, W. (2020). Product appropriateness, willingness to try and perceived risks of foods containing insect protein powder: A survey of US consumers. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3215–3226. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14612>
 23. Liu, A. -J., Li, J., Gómez, M. I. (2020). Factors influencing consumption of edible insects for Chinese consumers. *Insects*, 11(1), Article 10. <https://doi.org/10.3390/insects11010010>
 24. Orkus, A., Wolańska, W., Harasym, J., Piwowar, A., Kapelko, M. (2020). Consumers' attitudes facing entomophagy: Polish case perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), Article 2427. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072427>
 25. Wilkinson, K., Muhlhausler, B., Motley, C., Crump, A., Bray, H., Ankeny, R. (2018). Australian Consumers' Awareness and Acceptance of Insects as Food. *Insects*, 9(2), Article 44. <https://doi.org/10.3390/insects9020044>
 26. Laureati, M., Proserpio, C., Jucker, C., Savoldelli, S. (2016). New sustainable protein sources: Consumers' willingness to adopt insects as feed and food. *Italian Journal of Food Science*, 28(4), 652–668.
 27. Caparros Megido, R., Sablon, L., Geuens, M., Brostaux, Y., Alabi, T., Blecker, C. et al. (2014). Edible insects acceptance by Belgian consumers: promising attitude for entomophagy development. *Journal of Sensory Studies*, 29(1), 14–20. <https://doi.org/10.1111/joss.12077>
 28. Barsics, F., Megido, R. C., Brostaux, Y., Barsics, C., Blecker, C., Haubruge, E. et al. (2017). Could new information influence attitudes to foods supplemented with edible insects? *British Food Journal*, 119(9), 2027–2039. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2016-0541>
 29. Niva, M., Vainio, A. (2021). Towards more environmentally sustainable diets? Changes in the consumption of beef and plant- and insect-based protein products in consumer groups in Finland. *Meat Science*, 182, Article 108635. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108635>
 30. Tuccillo, F., Marino, M. G., Torri, L. (2020). Italian consumers' attitudes towards entomophagy: Influence of human factors and properties of insects and insect-based food. *Food Research International*, 137, Article 109619. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109619>
 31. Barska, A. Wojciechowska-Solis, J. (2018). Traditional and regional food as seen by consumers — research results: the case of Poland. *British Food Journal*, 120(9), 1994–2004. <https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2018-0054>
 32. Mancini, S., Sogari, G., Menozzi, D., Nuvoloni, R., Torracca, B., Moruzzo, R., Paci, G. (2019). Factors predicting the intention of eating an insect-based product. *Foods*, 8(7), Article 8070270. <https://doi.org/10.3390/foods8070270>
 33. Mediascope. Retrieved from <https://mediascope.net/> Accessed March 10, 2022
 34. Sidali, K. L., Pizzo, S., Garrido-Pérez, E. I., Schamel, G. (2019). Between food delicacies and food taboos: A structural equation model to assess Western students' acceptance of Amazonian insect food. *Food Research International*, 115, 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.027>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Полубесова Мария Андреевна — специалист по маркетингу, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 Тел.: +7-812-273-41-08 E-mail: mpolubesova@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8253-6225	Mariia A. Polubesova, marketer, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 191014, St. Petersburg, Russia Tel.: +7-812-273-41-08 E-mail: mpolubesova@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8253-6225
Новикова (Захарова) 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	Mariia V. Novikova (Zakharova), 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
Рябухин Дмитрий Сергеевич — кандидат химических наук, старший 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: rdms@bk.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5345-0038	Dmitriy S. Ryabukhin, Candidate of Chemical 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: rdms@bk.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5345-0038
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.