

Том 55, № 1, 2025
Vol. 55, № 1, 2025

ISSN 2074-9414
ISSN 2313-1748

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Food Processing:
Techniques and Technology



1} Кемеровский
государственный
университет
Объединяем
знания и людей

Food Processing: Techniques and Technology is an open access, doubleblind peer-reviewed quarterly journal that encompasses a wide range in the food industry and agricultural science in Russia and neighboring regions.

The Journal is accepted by SCOPUS and Russian Science Citation Index. Our open access policy follows the Budapest Open Access Initiative (BOAI).

The Journal's mission is to present, integrate and disseminate the most important results of fundamental and applied research in the food industry of Russia and the CIS countries. We aim to create scientific content that would reflect the current state of food science.

The Journal is addressed to practicing professionals, scientists, academics, and students.

The Journal publishes scientific articles, reviews, and research briefs in the following areas: food systems; biotechnology; food production technology; sanitation and health; ecology; biosecurity; zootechnics; electro-technologies, agro-industrial machines and equipment. For submission instructions, subscription and all other information visit this journal online at fptt.ru/en

Editor-in-Chief

Alexander Yu. Prosekov, Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Dr. Sci. (Biol.), Kemerovo State University, Kemerovo, Russia.

Deputy Editor-in-Chief

Andrey N. Petrov, Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), All-Russia Dairy Research Institute, Moscow, Russia;

Olga O. Babich, Dr. Sci. (Eng.), Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.

Editorial Board Member

Evgeny V. Abakumov, Professor of the RAS, Dr. Sci. (Biol.), St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia;

Igor V. Altukhov, Dr. Sci. (Eng.), Industrial Technological Innovations LLC, Irkutsk, Russia;

Vladimir V. Bakharev, Dr. Sci. (Chem.), Samara State Technical University, Samara, Russia;

Svetlana M. Bychkova, Dr. Sci. (Econ.), Gatchina State Institute University, Gatchina, Russia;

Aram G. Galstyan, Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), All-Russia Dairy Research Institute, Moscow, Russia;

Irina A. Ganieva, Dr. Sci. (Econ.), Research and Academic Centre "Kuzbass", Kemerovo, Russia;

Ivan F. Gorlov, Academician of the RAS, Dr. Sci. (Agr.), Povolzhsky Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia;

Galina M. Gritsenko, Dr. Sci. (Econ.), Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia;

Nina I. Dunchenko, Dr. Sci. (Eng.), Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

Ivan A. Evdokimov, Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia;

Alexandra V. Zaushintsena, Dr. Sci. (Biol.), Kemerovo State University, Kemerovo, Russia;

Yujun Jiang, Ph.D., College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin, China;

Anatoly P. Kaledin, Dr. Sci. (Biol.), Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

Anna B. Kapranova, Dr. Sci. (Econ.), Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia;

Nikolai I. Kashevarov, Academician of the RAS, Dr. Sci. (Agr.), Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia;

Vladimir G. Lobanov, Dr. Sci. (Eng.), Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia;

Gazibeg O. Magomedov, Dr. Sci. (Eng.), Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;

Olga A. Neverova, Dr. Sci. (Biol.), Kemerovo State University, Kemerovo, Russia;

Sergei L. Tikhonov, Dr. Sci. (Eng.), Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia;

Olga A. Frolova, Dr. Sci. (Econ.), Nizhni Novgorod Engineering-economic State University, Knyaginino, Russia;

Gayrat Sh. Haydarov, Ph.D. (Eng.), Uzbek-Finnish Pedagogical Institute, Samarqand, Uzbekistan;

Vladimir N. Khmelev, Dr. Sci. (Eng.), Biysk Technological Institute, Altai State Technical University, Biysk, Russia;

Yuri S. Khotimchenko, Dr. Sci. (Biol.), Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

Sergey V. Shakhov, Dr. Sci. (Eng.), Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;

Igor V. Yudaev, Dr. Sci. (Eng.), Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia.

All articles are licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Executive Editor: A.I. Loseva

Publishing Editor: E.V. Dmitrieva

Editor and Proofreader: E.A. Krivosheeva

English Editor: N.V. Rabkina

Computer layout design: E.V. Volkova

Founder, Publisher and Editorial: Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, Kemerovo region – Kuzbass, 650000, Russia
phone: +7(3842) 58-80-24
e-mail: fptt98@gmail.com

Printing Office: Kemerovo State University, 73, Sovetskiy Ave., Kemerovo, Kemerovo region – Kuzbass, 650000, Russia

Date of issue March 26, 2025

Printed sheet 25.58 conventional printed
Circulation 500 cop.

Open price. Issued 4 times a year

Full-texts are available online at fptt.ru/en,
elibrary.ru, e.lanbook.com, cyberleninka.ru

© Layout, accompanying text, editorial
and publishing design,

Kemerovo State University, 2025

Национальный, рецензируемый научный журнал, посвященный вопросам пищевой промышленности и смежных отраслей. Журнал включен в SCOPUS, RSCI, Белый список, Перечень ВАК (категория К1).

Миссия: создание, агрегация, поддержка и распространение научно-образовательного контента в области пищевой промышленности, объединение усилий различных категорий исследователей, вузовской и научной

интеллектуальной, 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, а также оказывать содействие в подготовке высококвалифицированных специалистов.

В журнале публикуются научные и обзорные статьи, краткие научные сообщения по направлениям: пищевые системы; биотехнология; технология пищевых производств; санитария и гигиена; экология; биобезопасность; частная зоотехния; электро-технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса. Подробная информация для авторов и читателей представлена на сайте <https://fptt.ru>

Главный редактор:

А.Ю. Просеков, член-корр. РАН, д-р техн. наук, д-р биол. наук, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия.

Зам. главного редактора:

А.Н. Петров, академик РАН, д-р техн. наук, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия;

О.О. Бабич, д-р техн. наук, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия.

Редакционная коллегия:

Е.В. Абакумов, профессор РАН, д-р биол. наук, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

И.В. Алтухов, д-р техн. наук, ООО «Промышленные технологические инновации», Иркутск, Россия;

В.В. Бахарев, д-р хим. наук, Самарский государственный технический университет, Самара, Россия;

С.М. Бычкова, д-р экон. наук, Гатчинский государственный университет, Гатчина, Россия;

А.Г. Галстян, академик РАН, д-р техн. наук, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия;

И.А. Ганиева, д-р экон. наук, АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс», Кемерово, Россия;

И.Ф. Горлов, академик РАН, д-р с.-х. наук, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия;

Г.М. Гриценко, д-р экон. наук, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Россия;

Н.И. Дунченко, д-р техн. наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

И.А. Евдокимов, член-корр. РАН, д-р техн. наук, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия;

А.В. Заушишнина, д-р биол. наук, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;

Ю. Йианг, Ph. D., Колледж пищевых наук Северо-Восточного сельскохозяйственного университета, Харбин, Китай;

А.П. Каледин, д-р биол. наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

А.Б. Капранова, д-р физ.-мат. наук, Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия;

Н.И. Кашеваров, академик РАН, д-р с.-х. наук, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Россия;

В.Г. Лобанов, д-р техн. наук, Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия;

Г.О. Магомедов, д-р техн. наук, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;

О.А. Неверова, д-р биол. наук, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;

С.Л. Тихонов, д-р техн. наук, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия;

О.А. Фролова, д-р экон. наук, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия;

Г.Ш. Хайдаров, канд. техн. наук, Узбекско-Финский педагогический институт, Самарканд, Узбекистан;

В.Н. Хмелев, д-р техн. наук, Бийский технологический институт Алтайского государственного технического университета, Бийск, Россия;

Ю.С. Хотимченко, д-р биол. наук, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;

С.В. Шахов, д-р техн. наук, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;

И.В. Юдаев, д-р техн. наук, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия.

Материалы публикуются на условиях лицензии CC BY 4.0.

Выпускающий редактор: А.И. Лосева

Ответственный за выпуск: Е.В. Дмитриева

Литературный редактор: Е.А. Кривошеева

Литературный редактор (англ. язык): Н.В. Рабкина

Дизайн и компьютерная верстка: Е.В. Волкова

Учредитель, издатель и редакция: Кемеровский государственный университет, 650000, Россия, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Кемерово, Красная, 6

тел.: +7 (3842) 58-80-24
e-mail: fptt98@gmail.com

Адрес типографии: Кемеровский государственный университет, 650000, Россия, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Кемерово, пр. Советский, 73

Дата выхода в свет 26.03.25

Усл. п. л. 25,58. Тираж 500 экз.

Цена свободная. Выходит 4 раза в год

Подписной индекс по интернет-каталогу агентства «Урал-Пресс» – 41672

Регистрационный номер СМИ серия ПИ № ФС77-72313 выдан Роскомнадзор

© Составление, сопроводительный текст, редакционно-издательское оформление, Кемеровский государственный университет, 2025

Колонка главного редактора
<https://fptt.ru>

10 марта 2025 г. в силу вступила обновленная редакция Доктрины продовольственной безопасности РФ, где в качестве стратегической цели указано поддержание стабильности мировых продовольственных рынков на многосторонней и двусторонней основе. Главным инструментом достижения стратегической цели является наращивание экспортного потенциала за счет внутреннего производства сельхозпродукции, сырья, продовольствия и минудобрений. В Доктрине также предусмотрено развитие международного научно-промышленного сотрудничества, включая обмен передовыми технологиями и опытом в области сельского хозяйства, что поспособствует развитию производства, воспроизводства сельскохозяйственной и племенной продукции, а также семян основных сельскохозяйственных культур.

Агропромышленный комплекс выполняет ключевую роль в обеспечении национальной продовольственной безопасности и социально-экономического развития страны, а также в формировании экспортного потенциала. Российский АПК продолжает развиваться и трансформироваться несмотря на новые вызовы. В 2024 г. сельхозпроизводители столкнулись с природными катаклизмами, продолжающимся давлением санкций, ростом ставок по кредитам и сохраняющимся дефицитом кадров. Несмотря на это, по данным Минсельхоза РФ, по производству основных видов продукции были достигнуты значения продовольственной безопасности, при этом показатели самообеспеченности по отдельным видам продукции выросли. Россия укрепила позиции на мировых рынках зерна и растительных масел, а также заложила основу для устойчивого роста в 2025 г.

Основными факторами, обеспечивающими дальнейшее развитие отраслей АПК, является внедрение современных технологий (активное использование современных сельскохозяйственных машин, точного земледелия, инновационных методов селекции и генетики), государственная поддержка (разнообразные программы поддержки, направленные на стимулирование производства, модернизацию инфраструктуры и развитие сельских территорий), развитие агрохолдингов (создание крупных вертикально-интегрированных агропромышленных компаний, обладающих значительными финансовыми и технологическими ресурсами), увеличение инвестиций (привлечение в сельское хозяйство как государственных, так и частных, в том числе иностранных, инвестиций).

В современных условиях важным процессом, направленным на повышение эффективности, конкурентоспособности и устойчивости АПК, является цифровизация. Цифровые информационные технологии и цифровая техника становятся эффективным инструментом решения задач для поддержки принятия практических агротех-

нологических решений на новом качественном уровне в рамках цифрового земледелия. Актуальной задачей информационных технологий становится максимальная автоматизация всех этапов производства, переработки и сбыта сельскохозяйственной продукции для снижения потерь и издержек, повышения продуктивности и качества продукции, а также для оптимального управления ресурсами и улучшения условий труда на сельхозпредприятиях. АПК лидирует среди отраслей экономики по внедрению цифровых технологий.

Большой вклад в цифровизацию российских сельхозпредприятий вносят работы Виктора Валентиновича Алты, руководителя СибФТИ, академика РАН, профессора, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, академика Национальной Академии Наук Монголии.

Академик В. В. Альт – известный ученый и изобретатель в области создания электронных измерительных устройств, информационно-измерительных комплексов и экспертных систем для оценки состояния биологических объектов и машин, систем автоматизации технологических процессов в сельском хозяйстве. Его изобретения «работают» на сельхозпредприятиях страны. Приборы, комплексы, системы и электронные базы данных, разработанные при участии Виктора Валентиновича, внедрены на двигателестроительных и тракторных заводах и во многих НИИ России. Он является автором и участником создания установок микроклимата («Биотрон»), а также комплексов и систем «ЦИКЛ», «КАРП», «КИД» и др. На основе составленных им научных положений и в соавторстве с ним создано свыше 30 информационных продуктов (электронных баз данных и экспертных систем), которые используются в системе аграрного образования России.

Виктор Валентинович ведет активную работу по координации научных исследований и разработок. По его инициативе и при непосредственном участии регулярно проводятся международные конференции по информационным технологиям, измерительным системам и приборам в АПК, объединяющие ученых Российской академии наук, вузов, производителей, а также специалистов из стран ближнего и дальнего зарубежья.

22 марта 2025 г. Виктор Валентинович Альт, академик РАН, профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, известный ученый и выдающийся изобретатель, отметил день рождения – ему исполнилось 79 лет. Ректорат Кемеровского государственного университета и редакция журнала искренне желают Виктору Валентиновичу крепкого здоровья и благополучия, почета и уважения, выдающихся успехов в профессиональной и научной деятельности, новых идей и неиссякаемой энергии для их реализации!

Ректор, главный редактор,
член-корр. РАН, профессор,
Заслуженный работник высшей школы РФ,
Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

А. Ю. Просеков 

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2557>
<https://elibrary.ru/JPCFYV>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Биомембранные системы для конвергентных природоподобных технологий



Б. Н. Федоренко^{1,*}, А. В. Лесничий¹,
В. Ф. Стерин², М. А. Латышев¹, А. В. Мачнев¹,
А. Е. Яблоков¹, А. О. Якушев¹

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

² Научно-исследовательский и конструкторский институт химического машиностроения, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 26.03.2024

Принята после рецензирования: 13.09.2024

Принята к публикации: 01.10.2024

*Б. Н. Федоренко: fedorenkobn@mgupp.ru,

<https://orcid.org/0000-0001-5577-0924>

А. В. Лесничий: <https://orcid.org/0009-0004-6078-8642>

М. А. Латышев: <https://orcid.org/0000-0002-8716-7510>

А. В. Мачнев: <https://orcid.org/0000-0001-7206-9128>

А. Е. Яблоков: <https://orcid.org/0000-0003-1489-8256>

А. О. Якушев: <https://orcid.org/0000-0001-5425-5445>

© Б. Н. Федоренко, А. В. Лесничий, В. Ф. Стерин, М. А. Латышев,
А. В. Мачнев, А. Е. Яблоков, А. О. Якушев, 2025



Аннотация.

Актуальными направлениями развития биотехнологических производств являются создание и внедрение конвергентных природоподобных технологий, в том числе на основе биологических и мембранных процессов. Однако эти качественно новые прогрессивные технологии требуют принципиально нового специального инженерного обеспечения, в частности разработки гибридных биомембранных систем. Цель обзора – проанализировать и обобщить результаты научных исследований и инженерных разработок, посвященных созданию и изучению биомембранных систем, включая их конструктивные особенности, технологические возможности и перспективы развития.

Объектами исследования послужили научные публикации о разработке, исследованиях, практическом применении, проблемах функционирования и перспективах развития биомембранных систем (преимущественно за 2013–2024 гг.). Поиск и отбор статей осуществлялись в библиографических базах Web of Science, Google Scholar, Scopus, Elsevier и в российской электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

Провели анализ, обобщение и систематизацию научно-технической информации в области изучения и создания биомембранных систем, выявили основные признаки их классификации. Обобщили результаты функционирования биомембранных систем: их использование в производстве существенно (иногда в десятки раз) повышает продуктивность процессов культивирования дрожжей, молочной и уксусной кислот и прочих метаболитов. Применение биомембранных систем при получении молочной кислоты повышает производительность процесса до 10 раз с достижением продуктивности до 50 г/л×ч при содержании продукта 100 г/л.

Обосновали перспективность применения биомембранных систем для создания новых прогрессивных биотехнологий. Однако они остаются недостаточно изученными, что не позволяет применять их в промышленном масштабе, и нуждаются в дальнейших исследованиях. Таким образом, изучение организации, строения, функционирования и развития биомембранных процессов и систем, а также создание на их основе эффективных и экономичных конвергентных природоподобных технологий являются актуальными направлениями.

Ключевые слова. Мембранный биореактор, ферментационная система, биотехника, инженерная биотехнология, культивирование микроорганизмов

Для цитирования: Федоренко Б. Н., Лесничий А. В., Стерин В. Ф., Латышев М. А., Мачнев А. В. и др. Биомембранные системы для конвергентных природоподобных технологий. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 1–16. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2557>

Biomembrane Systems for Convergent Biomimetic Technologies



Boris N. Fedorenko^{1,*}, **Anton V. Lesnichiy¹**,
Vladimir F. Sterin², **Mikhail A. Latyshev¹**, **Aleksey V. Machnev¹**,
Alexander E. Yablokov¹, **Alexey O. Yakushev¹**

¹ Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

² Research and Design Institute of Chemical Engineering, Moscow, Russia

Received: 26.03.2024

Revised: 13.09.2024

Accepted: 01.10.2024

*Boris N. Fedorenko: fedorenkobn@mgupp.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5577-0924>

Anton V. Lesnichiy: <https://orcid.org/0009-0004-6078-8642>

Mikhail A. Latyshev: <https://orcid.org/0000-0002-8716-7510>

Aleksey V. Machnev: <https://orcid.org/0000-0001-7206-9128>

Alexander E. Yablokov: <https://orcid.org/0000-0003-1489-8256>

Alexey O. Yakushev: <https://orcid.org/0000-0001-5425-5445>

© B.N. Fedorenko, A.V. Lesnichiy, V.F. Sterin, M.A. Latyshev, A.V. Machnev,
A.E. Yablokov, A.O. Yakushev, 2025



Abstract.

Convergent biomimetic technologies are a popular biotechnological direction. They include approaches that rely on biological and membrane processes, which require special engineering support, e.g., hybrid biomembrane systems. This article reviews scientific achievements in the sphere of biomembrane systems, their design, technological capabilities, and development prospects.

The review covered scientific publications on the development, research, application, problems, and prospects of biomembrane systems published in 2013–2024 and registered in Web of Science, Google Scholar, Scopus, Elsevier, and eLIBRARY.RU. The scientific and technical data made it possible to identify the main features of biomembrane systems and classify them. Biomembrane systems improve the cultivation of yeast, lactic and acetic acids, and other metabolites. In lactic acid production, biomembrane systems increase the process efficiency by tenfold: the yield reaches 50 g/L×h with a product content of 100 g/L. Biomembrane systems demonstrate excellent prospects as a source of new progressive biotechnologies. However, they remain understudied for industrial use. The organization, structure, performance, and development of biomembrane processes and systems are highly relevant as part of new effective and economical convergent biomimetic technologies but require additional research.

Keywords. Membrane bioreactor, fermentation system, biotechnology, engineering biotechnology, microbial cultivation

For citation: Fedorenko BN, Lesnichiy AV, Sterin VF, Latyshev MA, Machnev AV, et al. Biomembrane Systems for Convergent Biomimetic Technologies. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):1–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2557>

Введение

При переходе к цифровым, интеллектуальным производственным технологиям и роботизированным системам в пищевой и биотехнологической промышленности необходимо решать не только тактические научно-технические задачи, обеспечивающие текущий период функционирования производства и предопределяющие ближнесрочную перспективу его развития, но и стратегические – ориентированные на средние и долгосрочную перспективу, обуславливающие будущее устойчивое развитие человеческой цивилизации.

Стремительное развитие индустрии способствовало возникновению и обострению одной из глобальных

проблем XXI в. – повышенной неконтролируемой техногенной нагрузки на биосферу планеты. Эффективное разрешение этой жизненно важной планетарной проблемы требует выполнения ряда стратегических задач, направленных на создание и применение принципиально новых прогрессивных технологий с улучшенными технико-экономическими показателями и не оказывающих негативного техногенного влияния на окружающую среду.

О необходимости таких высокоэффективных и экологических технологий будущего 28 сентября 2015 г. говорил Президент РФ В. В. Путин в выступлении на заседании 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН:

«Нам нужны качественно новые подходы. Речь должна идти о внедрении принципиально новых природоподобных технологий, которые не наносят урон окружающему миру, а существуют с ним в гармонии и позволяют восстановить нарушенный человеком баланс между биосферой и техносферой. Это действительно вызов планетарного масштаба».

К таким новым прорывным технологиям можно отнести конвергентные природоподобные технологии на основе биомембранных процессов – НБМИ-технологии (нано-, био-, мембранные и информационные технологии). Однако эти специфические технологии требуют нового специального инженерного обеспечения, особенно разработки биомембранных систем (мембранных биореакторов).

Цель обзора – проанализировать и обобщить результаты научных исследований и инженерных разработок, посвященных созданию и изучению биомембранных систем, в том числе обсудить их конструктивные особенности, технологические возможности и перспективы развития.

Объекты и методы исследования

Работа выполнена на инициативной основе на базе кафедры «Прикладная механика и инжиниринг технических систем» Российского биотехнологического университета (РОСБИОТЕХ).

Объектом исследования послужила общедоступная научная литература, описывающая результаты инженерных разработок и научных исследований, области практического применения, проблемы функционирования и перспективы развития биомембранных систем как материальной основы для практической промышленной реализации конвергентных природоподобных технологий.

Поиск и отбор научных статей для составления литературного обзора по тематике развития биомембранных процессов и систем осуществляли в зарубежных библиографических информационных базах данных Web of Science, Google Scholar, Scopus, Elsevier и в российской научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

Обзор включал анализ публикаций исследовательского, концептуального и обзорного характера, соответствующих тематике запроса. Поиск проводился по следующим ключевым словам: мембранный биореактор, биомембранные процессы и системы, ферментационные системы, конвергентные природоподобные технологии, биотехника, инженерная биотехнология, промышленная биоинженерия, культивирование микроорганизмов.

Глубина поиска основного массива источников составила 10 лет (2013–2024 гг.); языки поиска – английский и русский. Анализ некоторых литературных источников более раннего периода осуществляли в случае отсутствия новых публикаций по отдельным аспектам исследуемой тематики.

Результаты и их обсуждение

Актуальность работы обусловлена Указом Президента Российской Федерации от 02.11.2023 г. № 818 «О развитии природоподобных технологий в Российской Федерации». В настоящее время в нашей стране начаты работы по созданию и развитию природоподобных конвергентных технологий, перспективность которых обоснована членом-корреспондентом РАН, проф. М. В. Ковальчуком с соавторами [1–3].

При рассмотрении природоподобных процессов и создаваемых на их основе технологий для пищевых и биотехнологических производств следует отметить, что человечество издавна применяет некоторые из них – вначале неосознанно, а затем (по мере развития науки) и целенаправленно. К таким природоподобным процессам можно отнести биологические и мембранные, заимствованные человеком у живой природы. Как биотехнологические, так и мембранные методы широко используются в промышленном производстве. Но поскольку в природе биологические и мембранные процессы сопряжены и осуществляются во взаимодействии, то и в промышленной биотехнологии их конвергенция (от лат. *convergo* – сближаю) обещает быть очень перспективной [4].

Это обусловлено еще и тем, что специфичность биотехнологических сред, применяемых в биологических процессах, требует задействования специальных технологических приемов и оборудования, обеспечивающих мягкие условия обработки, которым в наивысшей степени соответствуют мембранные процессы, технические и технологические возможности которых почти идеально сочетаются со специфическими свойствами биологических объектов [5, 6]. Таким образом, создание новых специфических конвергентных природоподобных технологий на основе биологических и мембранных процессов требует разработки специального оборудования, к которому, в частности, относят биомембранные системы (мембранные биореакторы).

О перспективности этого направления свидетельствуют и результаты исследований по идеальному моделированию биореакторов будущего [7]. Такой инновационный подход к конструктивному совершенствованию биореакторов представляется возможным только при ориентации в работе на идеальную модель биореактора. Принцип идеализации предполагает абстрагирование от известных технических решений и, с учетом специфики осуществляемого технологического процесса и его известных проблем, формулирование гипотетических требований, предъявляемых к конструкции биореактора (или отдельных его систем), в таком виде, при котором его функциональные показатели приближались бы к теоретически возможным предельным значениям [8].

Начало изучения принципа мембранного биореактора в России относят к 1980-м гг. [9–11].

Биомембранные системы классифицируют по следующим основным признакам:

- по технологической направленности (для биосинтеза или биокатализа);
- по виду применяемых биологических агентов;
- по степени подвижности клеток или ферментов (свободные, иммобилизованные);
- по типу применяемых мембранных процессов (жидкофазные, газофазные);
- по виду применяемых мембран;
- по конструктивному устройству;
- по месту размещения мембранной системы (внутри или вне реакционного пространства) [4].

Технологическая направленность биомембранных систем. Концепция мембранного биореактора предусматривает синхронное осуществление двух разных и, казалось бы, несовместимых процессов – биотехнологического и мембранного. В первом происходит получение целевого продукта с помощью микробного синтеза либо биокатализа, а во втором – селективное удаление из реакционного пространства образующихся веществ, негативно влияющих на скорость биотехнологического процесса метаболитов или продуктов ферментативного гидролиза. Таким образом, по направленности и виду биотехнологических процессов различают следующие биомембранные системы:

- для микробного биосинтеза – на основе культивирования микроорганизмов;
- для биокатализа органического сырья – на основе действия индивидуальных ферментов, ускоряющих необходимые биохимические превращения [10].

Виды применяемых биологических агентов в биомембранных системах. В зависимости от технологической направленности в биомембранных системах могут применяться различные биологические агенты – микроорганизмы, ферменты или клеточные компоненты [4].

Степень подвижности биологических агентов в биомембранных системах. Биомембранная система для культивирования микроорганизмов представляет собой одну из форм ограничения в реакционном пространстве биологических агентов, осуществляющих сложный синтез биологически активных веществ из простых соединений или процесс биотрансформации сырья [11]. При этом по степени подвижности биологических агентов различают биомембранные системы, в которых они функционируют в ограниченном реакционном пространстве в свободном состоянии, и биомембранные системы с применением иммобилизованных биологических агентов, т. е. закрепленных клеток или ферментов на различных носителях, в том числе на мембранах. Биомембранные системы с применением свободных биологических агентов выгодно отличаются своими технологическими возможностями от систем с иммобилизованными биологическими агентами тем, что биохимические процессы не лимитируются диффузией, скорость которой невелика [12]. Возможность смещения скорости биосинтеза или био-

катализа в направлении образования целевых продуктов в соответствии с принципом Ле Шателье-Брауна дает преимущество биомембранным системам со свободными биологическими агентами перед традиционными реакторными системами глубинного культивирования или ферментативного катализа [4, 12, 13].

Типы мембранных процессов, применяемых в биомембранных системах. По этому признаку классификации различают биомембранные системы на основе жидкофазных и газофазных процессов [14, 15]. Газофазные процессы через силиконовые мембраны в биомембранных системах применяют для беспузырьковой мембранной аэрации ферментационной среды, которая способствует существенному уменьшению пенообразования [14]. При этом на аэрацию может нагнетаться не атмосферный воздух, а воздух, обогащенный кислородом, который также можно получать с применением мембранных технологий. Например, в газоразделительных мембранных аппаратах в составе одноступенчатых установок получают воздух с контролируемым содержанием кислорода 21–36 %, при двухступенчатом мембранном разделении концентрация может быть увеличена до 50 % [4], а трехстадийная система обогащения воздуха кислородом на жидких пассивных перфторуглеродных мембранах позволяет повышать концентрацию кислорода до 77 % [14].

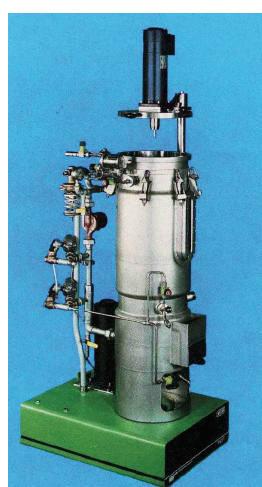
Примером мембранного биореактора с системой мембранной аэрации может служить конструкция MBR Bio Reactor AG (Нидерланды) [6] для перфузионного культивирования микроорганизмов, иммобилизованных на носителях или в микрокапсулах (рис. 1). Биореактор этой конструкции предназначен для культивирования популяции с очень высокой плотностью, когда потребность в кислороде чрезвычайно высока. Таким образом, система мембранной аэрации в биореакторе этого типа, по сути, играет роль искусственного легкого и представляет собой пример адаптации современной техники к условиям, аналогичным тем, что осуществляются в живой природе.

Виды полупроницаемых мембран, применяемых в биомембранных системах. В биомембранных системах применяют микро- и ультрафильтрационные мембраны различной природы и формы – половолоконные, плоские (листовые) и трубчатые. Мембраны могут быть изготовлены из различных материалов (чаще всего синтетических полимеров), обладающих биологической инертностью. Поскольку линейные размеры микроорганизмов находятся в диапазоне 1–8 мкм, то при культивировании дрожжевых или бактериальных клеток в мембранных биореакторах применяют микрофильтрационные мембраны с размером пор 0,2–0,5 мкм, а типичное рабочее давление не превышает, как правило, 0,2 МПа. В биокаталитических мембранных реакторах функционируют гидролитические ферменты, молекулярные массы которых обычно составляют несколько десятков кДа

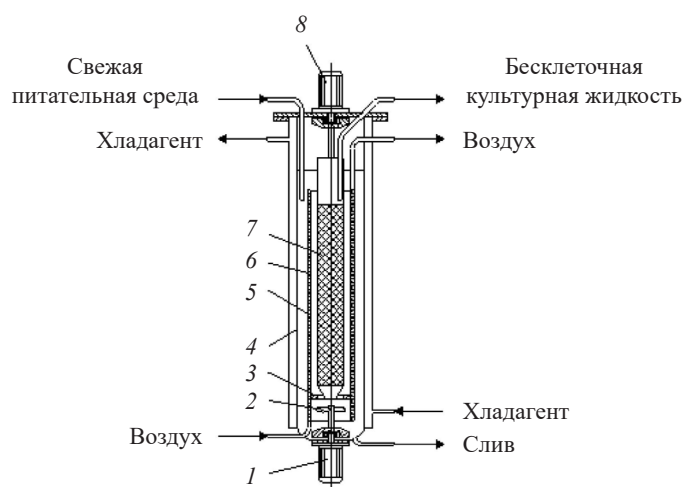
(у целлюлолитических ферментов 30–100 кДа), поэтому для удержания в реакционном пространстве биокатализаторов применяют ультрафильтрационные мембраны с размером пор около 50 нм, а типичное рабочее давление часто составляет 0,5–0,6 МПа [4, 10]. Возможно применение модифицированных полупроницаемых мембран, на поверхности и в порах которых иммобилизованы ферменты [16]. Большинство современных полупроницаемых мембран соответствует требованиям по термической и химической стойкости, механической прочности, биологической инертности и обладает высокими технологическими характеристиками и продолжительным ресурсом, обеспечива-

ющим стабильность функциональных показателей (прежде всего селективности и удельной производительности) в течение длительного периода эксплуатации. В зависимости от условий применения, срок службы мембран может достигать восьми лет [13].

В биомембранных системах для культивирования клеток применяют все виды полупроницаемых мембран. Трубочатые – в основном для мембранной аэрации, а полволоконные и плоские – для удерживания клеток в реакционном пространстве и удаления из него токсичных для культуры продуктов метаболизма. В таблице 1 приведена сравнительная характеристика основных функциональных показателей



а



b

Рисунок 1. Общий вид (а) и принципиальное устройство (b) биореактора (MBR Bio Reactor AG, Нидерланды) для перфузионного культивирования микроорганизмов с мембранной аэрацией: 1 – привод перемешивающего устройства; 2 – перемешивающее устройство; 3 – диафрагма; 4 – корпус биореактора; 5 – диффузор; 6 – мембрана газообменная трубчатая; 7 – фильтр сетчатый; 8 – привод сетчатого фильтра

Figure 1. General view (a) and basic design (b) of a bioreactor (MBR Bio Reactor AG, Netherlands) for perfusion microbial cultivation with membrane aeration: 1 – mixing device drive; 2 – mixing device; 3 – diaphragm; 4 – bioreactor body; 5 – diffuser; 6 – tubular gas exchange membrane; 7 – mesh filter; and 8 – mesh filter drive

Таблица 1. Сравнительная характеристика мембранных биореакторов для культивирования клеток [17]

Table 1. Comparative analysis of membrane bioreactors for cell cultivation [17]

Показатель	Мембранный биореактор на основе полых волокон	Суспензионный мембранный биореактор (с перемешиванием и аэрацией)
Плотность клеток	3	2
Гомогенность среды	1	3
Напряжение сдвига	нет	да
Концентрация продукта	3	2
Производительность	3	2
Эффективность использования среды	1	3
Контроль	1	2
Выделение целевого продукта	3	2
Возможность стерилизации паром	нет	да
Повторность использования	нет	да

Примечание: 1–3 – относительная степень эффективности.

Note: 1–3 – relative degree of efficiency.

мембранных биореакторов на основе мембран двух видов (половолоконных и плоских) при культивировании клеток [17].

В источнике [18] авторами, к сожалению, не указаны численные значения эффективности рассматриваемых показателей функционирования исследуемых мембранных биореакторов, приведена лишь их балльная относительная оценка, которую вербально можно выразить как «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично».

Мембранный биореактор на основе полых волокон имеет ряд преимуществ (табл. 1), среди которых – возможность достижения достаточно большой плотности концентрации клеток при отсутствии напряжений сдвига, что исключает вероятность механического травмирования клеток. Тем не менее для промышленных масштабов производства рекомендуется использовать суспензионные мембранные биореакторы с системами перемешивания и аэрации [19].

В настоящее время полволоконный мембранный биореактор широко применяют для лабораторных и пилотных исследований либо для выращивания и дифференциации стволовых клеток в персонализированной медицине [19].

Конструктивное устройство биомембранных систем. Организацию и строение биомембранных систем осуществляют преимущественно по модульному принципу [13]. Таким образом, по конструктивному устройству различают биомембранные системы с модулями полволоконного, трубчатого и плоского много типов [20–22].

Место размещения мембран в биомембранной системе. Классификация биомембранных систем по конструктивному устройству взаимосвязана с еще одним признаком классификации – по месту размещения мембранной системы (модуля) в реакционном про-

странстве мембранного биореактора. В соответствии с этим признаком различают мембранные биореакторы, в которых мембранные системы (мембраны или модули) расположены внутри или вне реакционного пространства [4, 12, 13]. При этом различают четыре основных типа мембранных биореакторов (рис. 2): – с выносной (напорной) мембранной системой и свободными биологическими агентами; – со встроенной (погружной) мембранной системой и свободными биологическими агентами; – со встроенной (совмещенной) мембранной системой и свободными биологическими агентами; – со встроенной (совмещенной) мембранной системой и иммобилизованными на мембранах биологическими агентами [4].

Первый тип мембранного биореактора с выносной (напорной) мембранной системой (рис. 2а) конструктивно представляет собой устройство, в котором серийные мембранные модули и реакционное пространство разобщены в пространстве, но соединены между собой коммуникациями и образуют единую биотехническую систему. По образованному таким образом циркуляционному контуру культура непрерывно прокачивается объемным насосом. При этом клетки задерживаются мембраной и возвращаются с циркуляционным потоком в реакционное пространство, а бесклеточная культуральная жидкость, проникая под давлением (напором) через мембраны, выводится из системы [4].

Примером применения биомембранной системы такого типа является конструкция мембранного биореактора МБР-01 (рис. 3).

Мембранный биореактор МБР-01 может применяться как для получения биомассы микроорганизмов, так и для получения продуктов их жизнедеятельности (табл. 2) [4]. Например, при культивировании

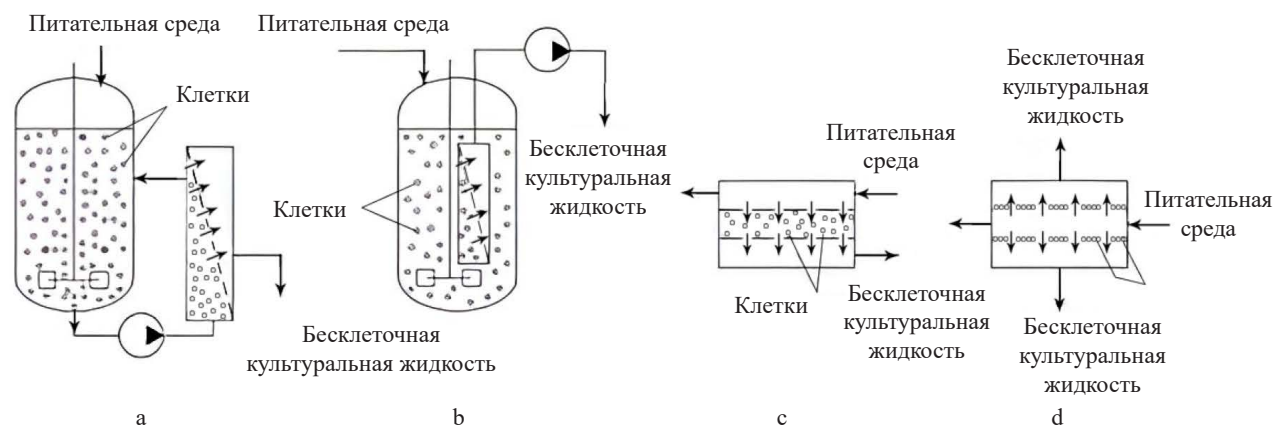


Рисунок 2. Принципиальные модели основных типов мембранных биореакторов: а – с выносной (напорной) мембранной системой; б – со встроенной (погружной) мембранной системой; в – со встроенной (совмещенной) мембранной системой; д – с иммобилизованными на мембранах клетками или ферментами

Figure 2. Principal models of basic membrane bioreactors: а – with an external (pressure) membrane system; б – with a built-in (submersible) membrane system; в – with a built-in (combined) membrane system; and д – with cells or enzymes immobilized on membranes

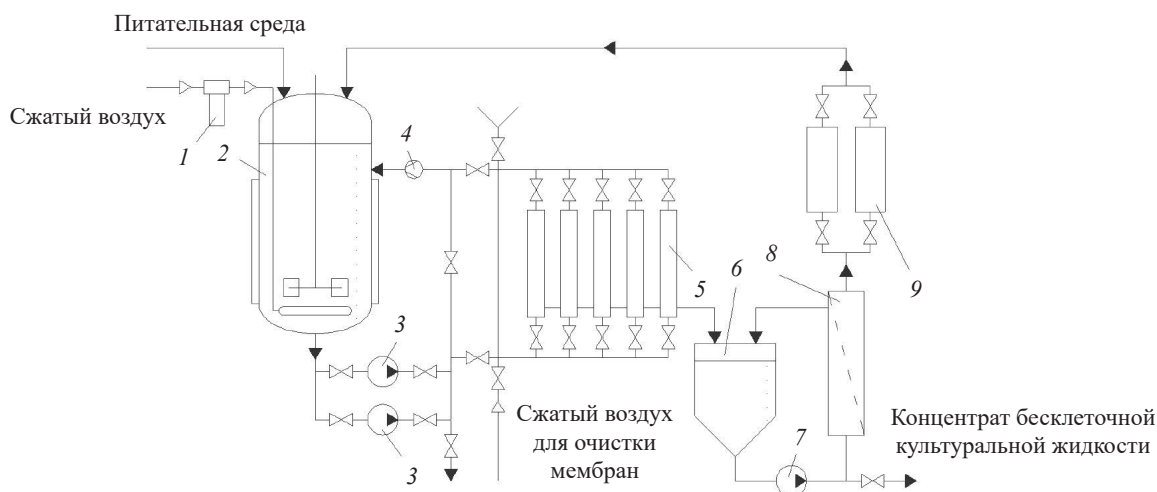


Рисунок 3. Принципиальная схема мембранного биореактора МБР-01 с выносной (напорной) мембранной системой: 1 – фильтр бактериальной очистки; 2 – корпус реакционный; 3 – насос мембранный; 4 – расходомер; 5 – аппарат микрофльтрационный; 6 – сборник пермеата; 7 – насос циркуляционный; 8 – аппарат обратноосмотический; 9 – колонна абсорбционная

Figure 3. MBR-01 membrane bioreactor with an external (pressure) membrane system: 1 – bacterial purification filter; 2 – reaction body; 3 – membrane pump; 4 – flow meter; 5 – microfiltration device; 6 – permeate collector; 7 – circulation pump; 8 – reverse osmosis device; and 9 – absorption column

молочнокислых бактерий целевым продуктом, непрерывно отводимым через мембраны, является молочная кислота. При культивировании дрожжей биомасса, являющаяся целевым продуктом, накапливается в биореакторе, а через мембрану непрерывно отводятся продукты метаболизма, благодаря чему происходит предохранение культивируемых дрожжевых клеток от их токсичного воздействия.

Благодаря устранению негативного влияния метаболитов на культуру максимальная концентрация дрожжей в мембранном биореакторе может достигать 100 г/л.

Принципиальной особенностью второго типа мембранного биореактора со встроенной (погружной) мембранной системой (рис. 2б) является то, что мембранное устройство погружено внутрь реакционного пространства, а бесклеточная культуральная жидкость отводится через мембраны за счет разряжения, создаваемого вакуум-насосом. Такие безнапорные конструкции на основе полуволоконных мембран находят применение при очистке сточных вод [18, 23], а в пищевых биотехнологиях могут применяться в разбавленных средах и в качестве продуцентов молочнокислых, пропионовокислых, уксуснокислых и др. бактерий [12].

Примером биомембранной системы этого типа является конструкция мембранного биореактора в составе установки МБР для очистки сточных вод (рис. 4).

Мембранный биореактор третьего типа (рис. 2с) является специальной оригинальной конструкцией, в которой реакционное пространство и мембранная система совмещены – они неразделимы и образуют единое конструктивное устройство. В этом случае реакционное пространство представляет собой объем,

Таблица 2. Техническая характеристика мембранного биореактора МБР-01 [4]

Table 2. Technical characteristics of the membrane bioreactor MBR-01 [4]

Показатель	Значение
Полная вместимость биореактора, м ³	0,63
Рабочая вместимость биореактора, м ³	0,5
Аппарат микрофльтрационный, шт.	10
Общая площадь поверхности мембран, м ²	20
Скорость потока вдоль мембраны, м/с	≥ 1
Насос мембранный циркуляционный, шт.	2
Объемная подача насоса, м ³ /ч	16
Максимальная концентрация дрожжей, г/л	100

ограниченный мембранами, в котором функционируют малоподвижные клетки. С одной стороны к клеткам непрерывно подводят через мембрану питательную среду, насыщенную кислородом, а с другой – через другую мембрану отводят бесклеточную культуральную жидкость, содержащую продукты метаболизма [4]. К такому типу мембранных биореакторов относится конструкция (MBR Bio Reactor AG, Нидерланды) (рис. 5, табл. 3) [6].

Критический анализ конструктивных особенностей и технологических возможностей биомембранных систем основных типов. К основным преимуществам мембранных биореакторов с выносной (напорной) мембранной системой следует отнести: – возможность использования типового оборудования [12], что не требует специальных конструкторских разработок;

- использование мембранной системы с любой необходимой площадью поверхности [12, 13];
- возможность создания над мембраной оптимальных рабочих давлений и гидродинамических режимов для снижения концентрационной поляризации [12];
- использование двух и более сменных мембранных модулей позволяет осуществлять их поочередную регенерацию без остановки процесса, а при оснащении их мембранами различных типов появляется возможность на различных стадиях процесса биокатализа регулировать состав субстрата и целевых БАВ, а также номенклатуры и типов используемых ферментов и микроорганизмов [12];
- возможность раздельной стерилизации мембранной системы и реакционного пространства [11];
- промывка у мембран обратным током [12].

Тем не менее следует учитывать, что в биомембранных системах этого типа клетки микроорганизмов могут травмироваться, а ферменты – инактивироваться ввиду продолжительных механических и гидродинамических воздействий при циркуляции реакционной среды [4]. В связи с этим для уменьшения упомянутых негативных воздействий в биомембранных системах рекомендовано применять плунжерные, мембранные насосы и насосы центробежного типа с пониженными коэффициентами быстроходности [12].

Основными преимуществами мембранных биореакторов с внутренней мембранной системой являются их более простая конструкция и идентичные условия для развития всех клеток в течение всего периода работы [11].

Особенностями биореакторов со встроенной мембранной системой, совмещенной с реакционным пространством, являются [4]:

- необходимость специальной конструкторской разработки;
- ограничение площади поверхности мембран геометрическими размерами реакционной зоны;
- невозможность раздельной стерилизации мембранной системы и реакционного пространства;
- сложность регенерации мембран и невозможность ее осуществления в ходе процесса.

Факторы, влияющие на эффективность функционирования биомембранных систем. Помимо конструктивного устройства биомембранной технической системы, прежде всего реакционного пространства и узла мембранного разделения, ее эффективное функционирование предопределяется сочетанием многих специфических факторов, среди которых важнейшими являются [13, 24, 25]:

- режим работы;
- выбор применяемой мембраны (тип, материал, технические характеристики) для решения конкретной технологической задачи;
- физико-химические свойства реакционной среды;
- условия аэрации реакционной среды;
- влияние давления и скорости отбора пермеата;
- морфология, размер частиц, физиологические свойства биологических агентов;
- методы и режимы очистки мембран (включая их промывку обратным током) и их влияние на функционирование всей биомембранной технической системы.

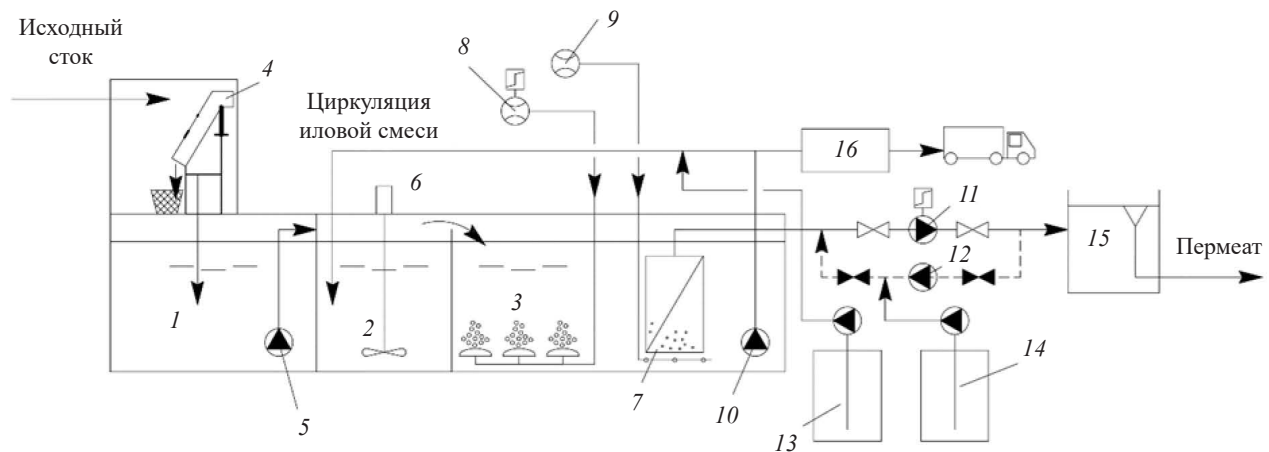


Рисунок 4. Принципиальная схема установки очистки сточных вод МБР со встроенной (погружной) мембранной системой: 1 – усреднитель; 2 – денитрификатор; 3 – нитрификатор; 4 – сито; 5 – подающий насос; 6 – перемешивающее устройство; 7 – мембранный полуволокнистый модуль; 8 – воздуходувка биореактора; 9 – воздуходувка мембранного блока; 10 – насос рециркуляции иловой смеси; 11 – пермеатный насос; 12 – насос обратной промывки; 13 – система дозирования хлорного железа; 14 – система дозирования лимонной кислоты / гипохлорита натрия; 15 – сборник обратной промывки; 16 – установка обезвоживания осадка

Figure 4. Membrane reactor for wastewater treatment with a built-in (submersible) membrane system: 1 – sewage regulator; 2 – denitrifier; 3 – nitrifier; 4 – sieve; 5 – feed pump; 6 – mixing device; 7 – membrane hollow fiber module; 8 – bioreactor blower; 9 – membrane block blower; 10 – sludge mixture recirculation pump; 11 – permeate pump; 12 – backwash pump; 13 – ferric chloride dosing system; 14 – citric acid / sodium hypochlorite dosing system; 15 – backwash collector; and 16 – sludge dewatering unit

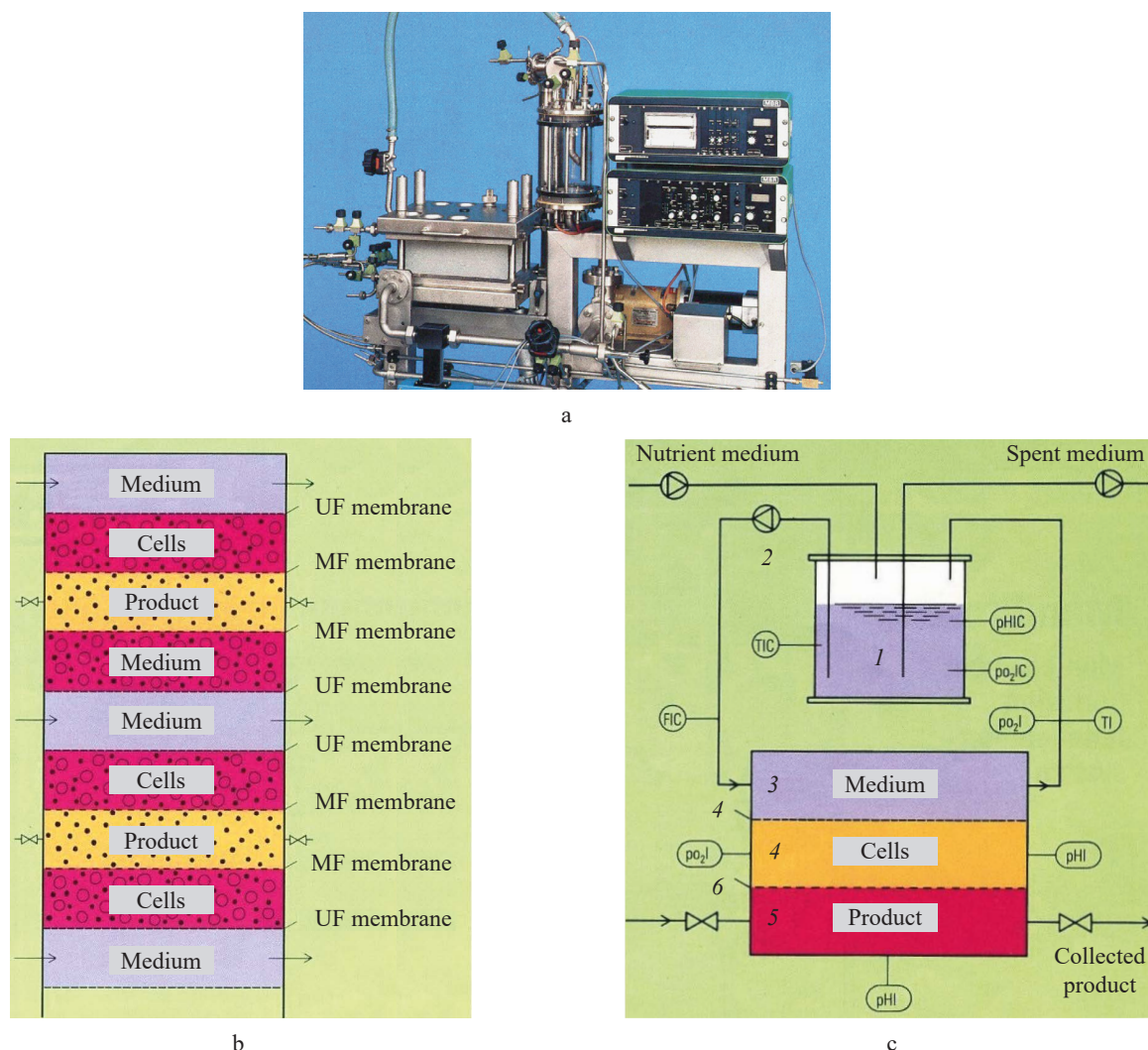


Рисунок 5. Мембранный биореактор (MBR Bio Reactor AG, Нидерланды) с мембранной системой, совмещенной с реакционным пространством: (а) общий вид; (б) схема сборки мембран в биореакторе; (с) схема работы биореактора: 1 – сборник питательной среды; 2 – насос для циркуляции питательной среды; 3 – камера для протока питательной среды; 4 – мембрана ультрафильтрационная; 5 – камера для развития клеток (реакционное пространство); 6 – мембрана микрофильтрационная; 7 – проточная камера для отвода продукта (бесклеточной культуральной жидкости)

Figure 5. Membrane bioreactor (MBR Bio Reactor AG, Netherlands) with a membrane system cum reaction space: (a) general view and schematic diagram; (b) assembly chart; (c) operation scheme: 1 – collection of nutrient medium; 2 – pump for nutrient medium circulation; 3 – chamber for nutrient medium flow; 4 – ultrafiltration membrane; 5 – chamber for cell development (reaction space); 6 – microfiltration membrane; and 7 – flow chamber for draining (cell-free culture liquid)

Функционирование биомембранных систем в некоторых отраслях промышленности. В настоящее время наибольшее применение в промышленном масштабе при биологической очистке сточных вод находят мембранные биореакторы с внутренними, безнапорными мембранными модулями [18, 23]. Биомембранные системы очистки стоков выгодно отличаются от традиционного оборудования следующие технические особенности:

- повышенная концентрация биомассы активного ила обеспечивает высокую окислительную способность, благодаря которой возможны минимизация рабочей

- вместимости системы и уменьшение потребности в производственной площади;
- свойства очищенных потоков на выходе из системы идеально подходят для дополнительной более глубокой мембранной обработки и обеззараживания ультрафиолетовым облучением;
- медленно растущие микроорганизмы (нитрификаторы) не вымываются из реакционного пространства системы;
- сокращение продолжительности выхода на стационарный режим в сравнении с другими очистными системами;

Таблица 3. Техническая характеристика мембранного биореактора (MBR Bio Reactor AG, Нидерланды) [6]

Table 3. Technical specifications of a membrane bioreactor (MBR Bio Reactor AG, Netherlands) [6]

Показатель	Значение
Количество мембранных камер, шт.	30–200
Площадь поверхности мембран, м ²	до 33,5
Габариты мембранной камеры, мм	310×270×0,7
Вместимость одной камеры, мл	25
Объемная подача насоса, м ³ /ч	до 0,8
Концентрация клеток, клеток/мл	до 10 ⁸

– уменьшение образования избыточной биомассы активного ила [26].

Но особенно перспективным представляется применение биомембранных процессов и систем в промышленной биотехнологии при культивировании микроорганизмов для решения важнейшей технической задачи – непрерывного удаления из ферментационной среды экстрацеллюлярных продуктов метаболизма, ингибирующих рост и развитие популяции. Вследствие этого обеспечиваются благоприятные условия для развития культуры в течение продолжительного времени при более высокой продуктивности. На выходе из биомембранной системы получают частично очищенный продукт биосинтеза – бесклеточную культуральную жидкость – нативный раствор, не содержащий не только клетки, но и крупные клеточные фрагменты, неutilизированные коллоидные компоненты питательной среды и пр.

В мембранном биореакторе для культивирования микроорганизмов мембранная система обеспечивает бесперебойное удаление образующихся продуктов жизнедеятельности из реакционного пространства биореактора. При этом клетки задерживаются мембраной, а расход питательных веществ и уменьшение объема жидкой фазы в биореакторе компенсируются непрерывным добавлением в него свежего жидкого субстрата. Такой режим работы мембранного биореактора, характеризующийся непрерывностью по жидкой фазе, содержащей продукты метаболизма и питательные вещества, и периодичностью по твердой фазе – биомассе клеток, называют *эко-статом* и описывают математической моделью:

$$\begin{cases} dx/d\tau = \mu x \\ dS/d\tau = D(S_o - S) - \alpha_s \mu x \\ dP/d\tau = \alpha_p \mu x - DP \end{cases} \quad (1)$$

где x – концентрация биомассы в биореакторе, кг/м³; μ – удельная скорость роста, ч⁻¹; D – скорость потока, ч⁻¹; S_o , S – концентрация субстрата на входе в биореактор и в биореакторе соответственно, кг/м³; α_s – стехиометрический коэффициент по субстрату, кг/кг; α_p – стехиометрический коэффициент по целевому продукту метаболизма, кг/кг; P – концентрация

целевого продукта метаболизма в биореакторе, кг/м³; τ – продолжительность, ч.

Благодаря удержанию биологических агентов в реакционном пространстве при культивировании микроорганизмов можно существенно увеличить скорость потока (коэффициент разбавления) [10]. В результате в мембранных биореакторах обеспечивается более высокая продуктивность [13], а их конструкция может быть более компактной, по сравнению с традиционными биореакторами аналогичной производительности [4].

Поскольку биотехнологические производства чрезвычайно разнообразны с точки зрения получаемых целевых продуктов, то и исследования по применению биомембранных процессов и систем в различных технологиях достаточно многочисленны. Результаты этих исследований подтвердили эффективность новых гибридных видов технологического оборудования за счет значительного (иногда в десятки раз) повышения продуктивности процессов культивирования, в частности при ферментации этанола, получении молочной [26–32] и уксусной кислот, других продуктов брожения и прочих метаболитов [13].

Результаты исследований по культивированию молочнокислых бактерий – продуцентов молочной кислоты – в мембранном биореакторе в условиях отъемно-доливного режима подтвердили повышение технологической эффективности, а также улучшение экономических и экологических показателей процесса по сравнению с традиционным культивированием. Так, было экспериментально показано:

- повышение производительности биореактора до 10 раз с достижением продуктивности до 50 г/л×ч при содержании молочной кислоты 100 г/л;
- повышение степени конверсии глюкозы в молочную кислоту до 95–97 % с одновременным повышением выхода молочной кислоты из углеводного субстрата на 2–5 %;
- снижение расхода дорогостоящих ростовых факторов в 2–3 раза;
- снижение количества образуемой избыточной биомассы примерно в 10 раз (не более 4,5 г/кг молочной кислоты);
- упрощение обеспечения асептических условий и доминирование культуры в реакционном пространстве [24].

Еще одной перспективной областью применения биомембранных систем является промышленный биокатализ. Ввиду непрерывного отвода через мембрану продуктов биокатализа, ингибирующих процесс, обеспечиваются благоприятные условия функционирования ферментов. Скорость биокатализа стабилизируется на достаточно высоком уровне в течение продолжительного времени и, кроме того, поддерживает максимально эффективное использование ферментов практически до полного исчерпания их ресурса [4].

Исследования по разделению ферментолитов белоксодержащего сырья (соевого шрота) в мембранном биокаталитическом реакторе с применением фер-

ментного препарата Пектофоедин П10х показали возможность многократного использования регенерированных ферментов. После каждого цикла задерживаемые мембраной ферменты оставались в активном состоянии и могли быть использованы повторно для гидролиза сырья, поэтому в последующих циклах ферментативный процесс протекал также эффективно, как и в первом.

Установлено, что с пермеатом из мембранного биореактора удаляется 76,4–94,7 % аминного азота, а потери протеолитической активности не превышают 2,5 %. Гидролизат, отводимый через мембрану, обесцвечивается в 5,2–6,9 раз, при этом его химический и аминокислотный составы после каждого цикла практически стабильны. Показано, что в четырех циклах ферментативного гидролиза расход ферментного препарата в мембранном биокаталитическом реакторе сокращается почти в четыре раза по сравнению с традиционной ферментативной обработкой белкового сырья [4]. При промышленной реализации процесса требуется периодическое добавление ферментного препарата в мембранный реактор лишь для восполнения потерь ферментов с отводимым через мембрану гидролизатом.

Исследования по разделению ферментолитатов целлюлозосодержащего сырья (хлопкового линта, опилок и др.) показали, что целлюлолитические ферменты различаются способностью адсорбироваться на целлюлозе [4]. Одни ферменты, обладающие слабой адсорбционной способностью, находятся в растворе – в смеси с продуктами гидролиза, а другие – прочно адсорбирующиеся – на остатке целлюлозы. Слабо адсорбирующиеся ферменты практически полностью (на 98–99 %) могут быть регенерированы ультрафильтрацией.

Основные проблемы функционирования биомембранных систем. Основной проблемой функционирования биомембранных систем является существенное снижение скорости трансмембранного массопереноса при обработке биотехнологических белоксодержащих сред и особенно суспензий [33–35]. Этот эффект обусловлен загрязнением проточных межмембранных каналов и рабочей поверхности самих мембран, а также возникновением специфического явления – концентрационной поляризации. Суть этого явления объясняется тем, что молекулы высокомолекулярных соединений, в частности белков, в большей или меньшей степени всегда адсорбируются на поверхности мембраны и в ее порах, образуя так называемую динамическую мембрану, создающую дополнительное сопротивление трансмембранному потоку. Помимо адсорбции на эффект концентрационной поляризации влияет также адгезия клеток и растворенных белков на поверхности мембран, что способствует образованию примембранного слоя загрязнений. При этом значительную роль играют материал мембраны, гидрофобность частиц и их поверхностный заряд [36, 37].

Уменьшение негативного влияния концентрационной поляризации на трансмембранный массоперенос

обеспечивают интенсификацией гидродинамических условий у поверхности мембраны прежде всего за счет турбулизации разделяемой смеси [38, 39] при увеличении ее скорости потока в межмембранном канале (до 1,5–2,0 м/с) [39–41]. Дальнейшее увеличение скорости потока, как правило, не приводит к существенному повышению проницаемости мембраны, которая будет всегда ниже начальной водопроницаемости.

Таким образом, при организации функционирования биомембранных систем значимыми параметрами являются:

- скорость потока разделяемой смеси над поверхностью мембраны;
- значение трансмембранного давления;
- качественно-количественный состав растворимых и взвешенных веществ в разделяемой смеси [35, 42].

Поскольку мембраны при функционировании биомембранной системы загрязняются, работа мембранных модулей должна быть организована в циклическом режиме с периодическим чередованием рабочих циклов с очисткой мембран [43].

Кроме того, при длительном осуществлении биоконверсии и биокатализа в биомембранных системах непрерывного действия возникает опасность заражения рабочей среды посторонней микрофлорой [12]. Для подавления посторонней микрофлоры при биоконверсии пекарских дрожжей в циркуляционный контур биокаталитического мембранного реактора с выносным (напорным) мембранным узлом устанавливают проточное устройство для ультрафиолетового облучения обрабатываемой среды (рис. 6, 8) [12].

Результаты ряда исследований свидетельствуют об эффективном влиянии на биологические объекты ультразвуковых воздействий, степень которых предопределена их интенсивностью (мощностью), частотой и длительностью. Положительное влияние на процессы биосинтеза наблюдается при низкой интенсивности (0,3–1,0 Вт/см²) и высокой частоте ультразвука, поскольку увеличивается проницаемость клеточных мембран, ускоряются процессы диффузии и метаболизма [25, 44].

Например, ультразвуковая обработка спиртовых дрожжей стимулирует их рост и способствует многократному повышению активности инвертазы [25]. Ультразвуковое воздействие на пекарские дрожжи с частотой 425 кГц в течение 1 ч увеличивает бродильную энергию и подъемную силу на 15–18 %, повышает содержание эргостерина [44]. В связи с этим в структуру биомембранных систем для биосинтеза рекомендовано включать ультразвуковые устройства с регулируемой мощностью и частотой для оптимизации их воздействия на среды (рис. 6, 7) [12].

Применение биомембранных систем в бесклеточной биотехнологии. Еще одним перспективным направлением применения биомембранных процессов в биотехнологии является создание на их основе бесклеточных белоксинтезирующих систем [45], в которых

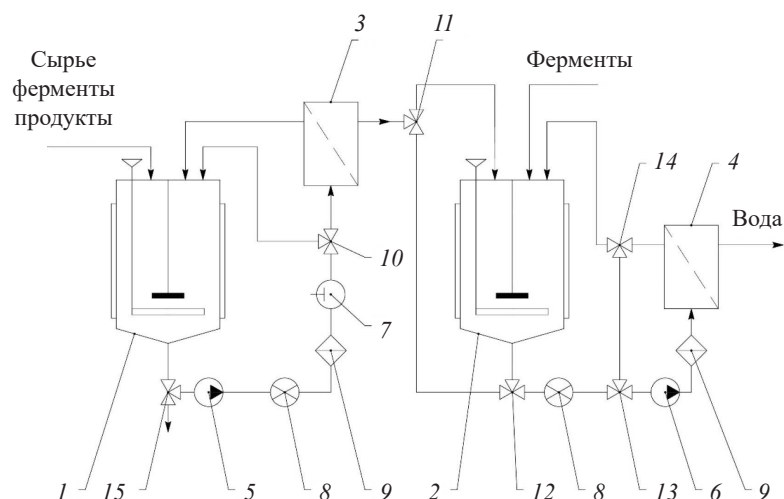


Рисунок 6. Принципиальная схема универсального двухступенчатого мембранного биореактора для биокатализа БАВ: 1 и 2 – биореакторы; 3 – мембранный модуль микро- или ультрафильтрационный; 4 – мембранный модуль нанофильтрационный; 5 – насос низкого давления; 6 – насос высокого давления; 7 – проточное ультразвуковое устройство; 8 – проточное устройство для ультрафиолетового облучения; 9 – теплообменник – охладитель; 10–14 – кран трехходовой

Figure 6. Schematic diagram of a universal two-stage membrane bioreactor for biocatalysis of biologically active substances: 1 and 2 – bioreactors; 3 – micro- or ultrafiltration membrane module; 4 – nanofiltration membrane module; 5 – low pressure pump; 6 – high pressure pump; 7 – flow ultrasonic device; 8 – flow device for ultraviolet irradiation; 9 – heat exchanger and cooler; and 10–14 – three-way valve

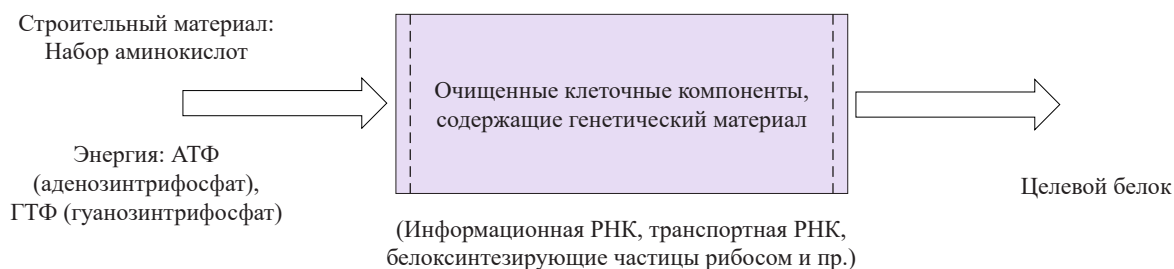


Рисунок 7. Модель биомембранной системы для бесклеточного синтеза белка

Figure 7. Model of a biomembrane system for cell-free protein synthesis

избирательный целенаправленный синтез белка осуществляют на внеклеточном уровне – непосредственно в мембранном биореакторе, содержащем набор клеточных компонентов. Во-первых, это становится осуществимым благодаря достигнутой возможности внеклеточного размножения и клонирования генетического материала в форме РНК, а во-вторых, благодаря уникальным возможностям биомембранных систем.

Внутреннее пространство трубчатого биореактора проточного типа, содержащее набор клеточных компонентов (генетический материал в виде информационной РНК, белоксинтезирующие частицы рибосом, некоторые белковые факторы и др.), ограничено на входе ультрафильтрационной, на выходе – микрофильтрационной мембранами (рис. 7). В такую систему непрерывно подают низкомолекулярные субстрат в виде аминокислот и энергоносители в форме аденозинтрифосфата и гуанозинтрифосфата, в резуль-

тате получают целевой синтезируемый белок без побочных примесей [45].

Практическое осуществление бесклеточной биотехнологии позволит исключить влияние лимитирующих факторов на внутриклеточные процессы и сделать биосинтез белка полностью управляемым.

Из биореактора через мембрану выводится лишь синтезируемый белок, а остальные компоненты, участвующие в синтезе белка, задерживаются, несмотря на то что теоретически они должны были бы также проникать через мембрану. Вероятно, эти компоненты связываются друг с другом в процессе биосинтеза, образуя ассоциации, задерживаемые мембраной [4].

Важное преимущество бесклеточной биотехнологии – синтез исключительно заданного белка, т. к. в систему вводят лишь одну матрицу. Благодаря этому исключаются сложные и трудоемкие стадии выделения и очистки белка.

Таким образом, мембранная система для бесклеточного синтеза белка, по сути играющая роль искусственной клетки, представляет собой еще один пример адаптации современной техники к условиям, аналогичным тем, что осуществляются в живой природе.

Несмотря на определенные успехи, бесклеточная биотехнология на данный момент не нашла применения в промышленном масштабе в силу стоящих перед ней технических барьеров, которые предстоит преодолеть в ближайшем будущем. Однако на экспериментальном уровне с помощью лабораторных мембранных биотехнических систем вместимостью всего до 10 мл уже сегодня удается получать такие продукты, как пептидные гормоны, антигены для диагностики, белковые токсины и антитоксины, антивирусные защитные белки, в количествах, достаточных для исследовательских целей. Возможно также получение ферментных и полиферментных белков, а в перспективе – многих форм искусственных белков, нестабильных в условиях клетки [45].

Выводы

Кардинальное совершенствование биотехнологических производств возможно за счет применения принципиально новых конвергентных природоподобных технологий на основе биомембранных процессов и систем – НБМИ-технологий (нано-, био-, мембранных и информационных технологий). Однако промышленная реализация этих технологий нуждается в специальном инженерном обеспечении, существенно отличающемся от традиционных видов технического оснащения пищевых, биотехнологических и других предприятий. Работы по идеальному моделированию биореакторов будущего позволяют сделать вывод, что таким видом биотехники для осуществления НБМИ-технологий являются биомембранные системы (мембранные биореакторы), в которых биологические и мембранные процессы конструктивно сопряжены, функционально взаимосвязаны и протекают синхронно. Мембранные биореакторы – это новое поколение биотехники, созданной по принципам биомиметики (бионики), сочетающей преимущества биологических и мембранных процессов и способной обеспечить эффективную реализацию конвергентных природоподобных технологий. Анализ научных публикаций по исследованию состояния и перспектив развития биомембранных систем позволил классифицировать их по ряду основных технологических и конструктивных признаков. Рассмотрены виды применяемых полупроницаемых мембран и конструктивное устройство основных типов биомембранных систем, проанализированы их технические особенности и технологические возможности. Обоснованы основные условия, предопределяющие эффективное функционирование биомембранных систем.

Показано, что сегодня мембранные биореакторы используют в промышленном масштабе при очистке

сточных вод. Рассмотрены основные области применения биомембранных систем и определены перспективы их применения при биоконверсии органического сырья и при культивировании микроорганизмов, в основном дрожжей и бактерий. Подтверждены технологическая эффективность и экономичность процессов, реализуемых в биомембранных системах. Наиболее перспективным представляется применение биомембранных систем при культивировании микроорганизмов, поскольку при этом существенно повышается продуктивность процесса. Одновременно это повышает компактность промышленного оборудования. Также перспективно использование биокаталитических мембранных реакторов, обеспечивающих более эффективное использование ферментов при снижении ингибирования ферментативного гидролиза продуктами биокатализа.

Выявлены основные проблемы, возникающие при функционировании биомембранных процессов и систем, и методы их устранения.

Отмечена перспективность применения проточных биомембранных систем трубчатого типа при осуществлении бесклеточного синтеза белка, который исключает образование побочных примесей и балластных белков.

Однако анализ научных публикаций показал, что несмотря на значительный профессиональный интерес к биомембранным процессам и системам в области инженерной биотехнологии, они остаются недостаточно изученными, что не позволяет применять их в промышленном масштабе. Это обстоятельство делает актуальными последующие исследования по данной тематике.

Таким образом, изучение организации, строения, функционирования и развития биомембранных процессов и систем, а также создание на их основе эффективных прогрессивных конвергентных природоподобных технологий являются актуальными направлениями и требуют дополнительных исследований.

Критерии авторства

Б. Н. Федоренко, А. В. Лесничий, В. Ф. Стерин, М. А. Латышев, А. В. Мачнев, А. Е. Яблоков – разработка концепции и дизайна исследования, сбор, анализ и интерпретация данных и материалов, подготовка и редактирование текста статьи. А. О. Якушев – сбор и анализ литературных данных, обработка иллюстраций, подготовка статьи к публикации. Все соавторы согласовали и утвердили окончательный вариант текста статьи и несут равную ответственность за его целостность, достоверность материалов и плагиат.

Финансирование

Работа выполнена на инициативной основе на базе кафедры «Прикладная механика и инжиниринг технических систем» Российского биотехнологического университета (РОСБИОТЕХ).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

B.N. Fedorenko, A.V. Lesnichiy, V.F. Sterin, M.A. Latsyshev, A.V. Machnev, and A.E. Yablokov developed the research concept and design, collected, analyzed, and interpreted the data, and wrote the manuscript. A.O. Yakushev collected and analyzed the data, provided the illustrations, and wrote the manuscript. All co-authors approved

the final version of the manuscript and bear equal responsibility for its integrity, reliability, and plagiarism.

Funding

The research was part of an initiative project at the Department for Applied Mechanics and Engineering of Technical Systems, Russian Biotechnological University.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest in relation to this publication.

Список литературы / References

1. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С. Природоподобные технологии – новые возможности и угрозы. Индекс Безопасности. 2016. Т. 22. № 3–4. С. 103–108. [Kovalchuk MV, Naraykin OS. Nature-like technologies – New opportunities and threats. Security Index. 2016;22(3–4):103–108 (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YRNQYF>
2. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С., Яцишина Е. Б. Конвергенция наук и технологий – новый этап научно-технического развития. Вопросы философии. 2013. № 3. С. 3–11. [Kovalchuk MV, Naraykin OS, Yatsishina EB. Convergence of science and technology – A new stage of scientific and technological development. Russian Studies in Philosophy. 2013;(3):3–11. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PYKLUT>
3. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С., Яцишина Е. Б. Природоподобные технологии: новые возможности и новые вызовы. Вестник российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 455–465. [Kovalchuk MV, Naraykin OS, Yatsishina EB. Nature-like technologies: New opportunities and new challenges. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2019;89(5): 455–465. (In Russ.)] <https://www.doi.org/10.31857/s0869-5873895455-465>
4. Федоренко Б. Н. Промышленная биоинженерия: инженерное сопровождение биотехнологических производств. СПб.: Профессия; 2020. 518 с. [Fedorenko BN. Industrial bioengineering: Engineering support for biotechnological production. Saint Petersburg: Professia; 2020. 518 p. (In Russ.)]
5. Федоренко Б. Н., Яблоков А. Е., Якушев А. О. Инженерное обеспечение конвергентных природоподобных технологий. Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности: сборник научных докладов конференции. М.: МГУПП; 2021. С. 399–407. [Fedorenko BN, Yablokov AE, Yakushev AO. Engineering support of convergent nature-like technologies. Factory of the future: Shifting to advanced digital and smart production and robotic systems in the food industry: Conference proceedings. Moscow: MSUFP; 2021;399–407. (In Russ.)]
6. Федоренко Б. Н. Инженерия конвергентных природоподобных технологий на основе биомембранных процессов и систем. М.: Росбиотех; 2024. 576 с. [Fedorenko BN. Engineering of convergent biomimetic technologies based on biomembrane processes and systems. Moscow: Rosbiotech; 2024. 576 p. (In Russ.)]
7. Антипов С. Т., Бредихин С. А., Ключников А. И., Панфилов В. А., Федоренко Б. Н. Конструирование биореакторов будущего пищевых технологий (научно-прикладные аспекты). СПб.: Лань; 2022. 524 с. [Antipov ST, Bredikhin SA, Klyuchnikov AI, Panfilov VA, Fedorenko BN. Bioreactors for the future of food technology: Theory and application. Saint Petersburg: Lan'; 2022. 524 p. (In Russ.)]
8. Klyuchnikov AI, Fedorenko BN, Antipov ST, Panfilov VA. Fundamental creation concepts for food technologies bioreactors constructions of the future. Bulletin of the Kerch State Marine Technological University. 2023;(1):130–137.
9. Dostalek M, Häggstrom M. A filter fermenter apparatus and control equipment. Biotechnology and Bioengineering. 1982;24(9):2077–2086. <https://www.doi.org/10.1002/bit.260240914>
10. Свитцов А. А., Марквичев Н. С., Кураков В. В. Мембранные биореакторы в биотехнологии. Обзор. М.: ВНИИСЭНТИМинмедмикробиопрома; 1986. 36 с. [Swittsov AA, Markvichev NS, Kurakov VV. Membrane bioreactors in biotechnology. Review. Moscow: All-Union Scientific Research Institute of Certification Minmedmicrobioprom; 1986. 36 p. (In Russ.)]
11. Соифер Р. Д. Мембранная технология в производстве биологически активных веществ. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. 1987. Т. 32. № 6. С. 661–669. [Soifer RD. Membrane technology of biologically active substances. Journal of the Mendeleyev All-Union Chemical Society. 1987;32(6):661–669. (In Russ.)]
12. Кудряшов В. Л. Мембранный биореактор – новое гибридное оборудование для производства пищевых БАВ, биопрепаратов и очистки стоков. Пищевая промышленность. 2018. № 1. С. 14–17. [Kudryashov VL. Membrane bioreactor is a new hybrid equipment for the production of food biologically active substances, biological products and wastewater treatment. Food Processing Industry. 2018;(1):14–17. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YNTMHG>

13. Kuznetsov NA, Beloded AV, Derunets AS, Grosheva VD, Vakhar LL, *et al.* Biosynthesis of lactic acid in a membrane bioreactor for cleaner technology of polylactide production. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2017;19(3):869–882. <https://www.doi.org/10.1007/s10098-016-1275-z>
14. Мухачев С. Г., Александровская Ю. П., Филиппова Н. К., Емельянов В. М. Кинетика аэробного культивирования спиртовых дрожжей в мембранном биореакторе. *Вестник Казанского технологического университета*. 2003. № 2. С. 168–172. [Mukhachev SG, Alexandrovskaya YuP, Filippova NK, Yemelyanov VM. Kinetics of aerobic alcohol yeast cultivation in a membrane bioreactor. *Herald of Kazan Technological University*. 2003;(2):168–172. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/HUWHJJ>
15. Шавалиев М. Ф., Мухачев С. Г., Валеева Р. Т., Емельянов В. М. Применение инокулятора с мембранным устройством подвода газового питания для повышения асептики спиртовых производств. *Вестник Казанского технологического университета*. 2011. № 5. С. 147–149. [Shavaliyev MF, Mukhachev SG, Valeeva RT, Yemelyanov VM. Inoculator with membrane gas supply device as a means of improving the asepsis of alcohol production. *Herald of Kazan Technological University*. 2011;(5):147–149. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/NPIXVT>
16. Nedovic V, Willaert R. *Fundamentals of cell immobilisation biotechnology*. Berlin: Springer Science & Business Media; 2013. 555 p.
17. Eibl R, Eibl D, Portner R, Catapano G, Czermak P. *Cell and tissue reaction engineering: Principles and practice*. Berlin: Springer; 2009. 363 p.
18. Степанов С. В., Степанов А. С., Сташок Ю. Е., Блинкова Л. А. Модульные мембранные биореакторы. Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 8. С. 51–55. [Stepanov SV, Stepanov AS, Stashok YuE, Blinkova LA. Modular membrane bioreactors. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2013;(8):51–55. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/QZHNYJ>
19. Воробьева Е. С., Сафаров Р. Р., Гусева Е. В., Меньшутина Н. В. Моделирование гидродинамики в полволоконной мембране для культивирования клеток млекопитающих. *Успехи в химии и химической технологии*. 2015. Т. 29. № 4. С. 72–74. [Vorobiova ES, Safarov RR, Guseva EV, Menshutina NV. Simulation of hydrodynamics in the hollow fiber membrane for cultivation of mammalian cells. *Advances in chemistry and chemical technology*. 2015;29(4):72–74. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/SLIZFV>
20. van Bentem AGN, Petri CP, Schyns PFT, van der Roest HF. *Membrane bioreactors: Operation and results of an MBR wastewater treatment plant*. London: IWA; 2007. 100 p. <https://doi.org/10.2166/9781780402017>
21. Judd S, Judd C. *The MBR Book: Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment*. Oxford: Elsevier; 2006. 325 p.
22. Yang W, Cicek N, Ilg J. State-of-the-art of membrane bioreactors: Worldwide research and commercial applications in North America. *Journal of Membrane Science*. 2006;270(1–2):201–211. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2005.07.010>
23. Степанов С. В. Технологический расчет аэротенков и мембранных биореакторов. М.: АСБ; 2023. 224 с. [Stepanov SV. *Technological calculation of aerotanks and membrane bioreactors*. Moscow: АСБ; 2023. 224 p. (In Russ.)]
24. Kozlovskiy R, Shvets V, Kuznetsov A. Technological aspects of the production of biodegradable polymers and other chemicals from renewable sources using lactic acid. *Journal of Cleaner Technology*. 2017;155(1):157–163. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.092>
25. Смирнова И. В., Кречетникова А. Н., Гернет М. В. Способ получения сусле в производстве спирта с ультразвуковой обработкой сырья. *Хранение и Переработка Сельхозсырья*. 2007. № 9. С. 68–69. [Smirnova IV, Krechetnikova AN, Gernet MV. Way of receipt of mash in spirits manufacture with ultrasonics treatment of raw. *Storage and Processing of Farm Products*. 2007;(9):68–69. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/IBSBAL>
26. Dey P, Pal P. Direct production of l (+) lactic acid in a continuous and fully membrane-integrated hybrid reactor system under non-neutralizing conditions. *Journal of Membrane Science*. 2012;389:355–362. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.10.051>
27. Giorno L, Chojnacka K, Donato L, Drioli E. Study of a cell-recycle membrane fermentor for the production of lactic acid by *Lactobacillus bulgaricus*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2002;41(3):433–440. <https://doi.org/10.1021/ie010201r>
28. Nishiwaki A, Dann I. Comparison of lactic acid productivities at high substrate conversions in a continuous two-stage fermenter with cell recycle using different kinetic models. *Chemical Engineering Communications*. 2005;192(2):219–236. <https://doi.org/10.1080/00986440590473335>
29. Xu G, Chu J, Wang Y-H, Zhuang Y-P, Zhang S-L, *et al.* Development of a continuous cell-recycle fermentation system for production of lactic acid by *Lactobacillus paracasei*. *Process Biochemistry*. 2006;41(12):2458–2463. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.05.022>
30. Pal P, Sikder J, Roy S, Giorno L. Process intensification in lactic acid production: A review of membrane based processes. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2009;48(11–12):1549–1559. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2009.09.003>
31. Lu Z, Wei M, Yu L. Enhancement of pilot scale production of l(+)-lactic acid by fermentation coupled with separation using membrane bioreactor. *Process Biochemistry*. 2012;47(3):410–415. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.11.022>

32. Fan R, Ebrahimi M, Czermak P. Anaerobic membrane bioreactor for continuous lactic acid fermentation. *Membranes*. 2017;7(2):26. <https://doi.org/10.3390/membranes7020026>
33. Meng F, Chae S-R, Drews A, Kraume M, Shin H-S, *et al.* Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. *Water Research*. 2009;43(6):1489–1512. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.044>
34. Xiong Y, Liu Y. Biological control of microbial attachment: A promising alternative for mitigating membrane biofouling. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010;86(3):825–837. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2463-0>
35. Judd SJ. A review of fouling of membrane bioreactor in sewage treatment. *Water Science & Technology*. 2004;49(2):229–235. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0131>
36. van der Marela P, Zwijnenburg A, Kempermana A, Wessling M, Temmink H, *et al.* Influence of membrane properties on fouling in submerged membrane bioreactors. *Journal of Membrane Science*. 2010;348(1–2):66–74. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2009.10.054>
37. Yu H-Y, Hu M-X, Xu Z-K, Wang J-L, Wang S-Yu. Surface modification of polypropylene microporous membranes to improve their antifouling property in MBR: NH₃ plasma treatment. *Separation and Purification Technology*. 2005;45(1):8–15. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.01.012>
38. Kim J-S, Lee C-H, Chang I-S. Effect of pump shear on the performance of a crossflow membrane bioreactor. *Water Research*. 2001;35(9):2137–2144. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00495-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00495-4)
39. Liu R, Huang X, Sun YF, Qian Y. Hydrodynamic effect on sludge accumulation over membrane surfaces in a submerged membrane bioreactor. *Process Biochemistry*. 2003;39(2):157–163. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00022-0)
40. Ognier S, Wisniewski C, Grasmick A. Membrane bioreactor fouling in sub-critical filtration conditions: A local critical flux concept. *Journal of Membrane Science* 2004;229(1–2):171–177. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2003.10.026>
41. Pollice A, Brookes A, Jefferson B, Judd S. Sub-critical flux fouling in membrane bioreactors – A review of recent literature. *Desalination*. 2005;174(3):221–230. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.09.012>
42. Cho BD, Fane AG. Fouling transients in nominally sub-critical flux operation of a membrane bioreactor. *Journal of Membrane Science*. 2002;209(2):391–403. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(02\)00321-6](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(02)00321-6)
43. Meng F, Chae S-R, Drews A, Kraume M, Shin H-S, *et al.* Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. *Water Research*. 2009;43(6):1489–1512. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.044>
44. Паландова Р. Д. Анализ методов активации хлебопекарных дрожжей и альтернативный вариант. *Хранение и Переработка Сельхозсырья*. 2000. № 8. С. 19–22. [Palandova RD. Activation methods for baker's yeast and alternative options. *Storage and Processing of Farm Products*. 2000;(8):19–22. (In Russ.)]
45. Спирин А. С., Четверин А. Б., Воронин Л. А., Баранов В. И., Алахов Ю. Б. Биосинтез белка и перспективы бесклеточной биотехнологии. *Вестник АН СССР*. 1989. № 11. С. 30–38. [Spirin AS, Chetverin AB, Voronin LA, Baranov VI, Alakhov YuB. Protein biosynthesis and prospects of cell-free biotechnology. *Bulletin of the USSR Academy of Sciences*. 1989;(11):30–38. (In Russ.)]

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2554>
<https://elibrary.ru/MAGOAF>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Химический состав дистиллята из пшеницы в процессе выдержки в контакте с древесиной дуба



Н. В. Шелехова*, И. М. Абрамова, Т. М. Шелехова,
Л. И. Скворцова, Н. В. Полтавская

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 20.03.2024
Принята после рецензирования: 22.04.2024
Принята к публикации: 07.05.2024

*Н. В. Шелехова: 4953610101@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7735-2942>
И. М. Абрамова: <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>
Т. М. Шелехова: <https://orcid.org/0000-0003-3851-4034>
Л. И. Скворцова: <https://orcid.org/0000-0002-0737-0624>
Н. В. Полтавская: <https://orcid.org/0000-0003-1266-523X>

© Н. В. Шелехова, И. М. Абрамова, Т. М. Шелехова,
Л. И. Скворцова, Н. В. Полтавская, 2025



Аннотация.

Приготовление выдержанных зерновых дистиллятов по классической технологии предполагает длительную выдержку в дубовых бочках. Особую актуальность приобретают исследования, направленные на интенсификацию данного процесса. Несмотря на значительный объем научных публикаций, проблема остается недостаточно изученной. Цель данного исследования – расширить и уточнить данные о химическом составе зерновых дистиллятов, находившихся в контакте с древесиной дуба.

Объектами исследования послужили образцы невыдержанного зернового дистиллята крепостью 60 % из пшеницы урожая 2023 г. и модельные растворы, приготовленные из невыдержанного зернового дистиллята и промышленной дубовой щепы размером 1,0×0,5 см (Экочипс, Франция) слабой, средней и сильной степени термической обработки, выдержанные в течение 7, 14, 21, 28 суток в защищенном от света месте. В работе реализован подход, обеспечивающий повышение информативности исследования химического состава зерновых дистиллятов, основанный на сочетании методов газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии, капиллярного электрофореза. В качестве варьируемых факторов были выбраны степень термической обработки дубовой щепы и продолжительность экстракции.

С применением комплекса разработанных авторами экспрессных методик был установлен состав летучих органических примесей и ионный состав зерновых дистиллятов. В наибольших концентрациях обнаружены высшие спирты изоамилол, изобутанол и 1-пропанол – до 80 % к сумме зарегистрированных летучих органических примесей. Определены диапазоны варьирования: для изоамилола – 1354,3–1489,3 мг/дм³, для изобутанола – 235,0–261,9 мг/дм³, для 1-пропанола – 119,6–134,9 мг/дм³. Подтвердилось, что тематическая спектральная библиотека Whiskey22 обеспечивает точность идентификации не менее 90 %. В процессе выдержки дистиллята в контакте с древесиной дуба различной степени обжига изменялись не только массовые концентрации, но и перечень идентифицированных ионов. В максимальных концентрациях ацетаты (67,3 мг/дм³), калий (4,2 мг/дм³), фосфаты (2,9 мг/дм³), лактаты (2,4 мг/дм³), хлориды (2,3 мг/дм³) обнаружены в модельном растворе, приготовленном с использованием дубовой щепы сильной степени обжига. Найдены соотношения и обозначены их характерные диапазоны – изоамилол:изобутанол (5,7–5,9), изобутанол:1-пропанол (1,9–2,0), этилкаприлат:этиллаурат (2,1–2,3), этилкаприлат:этилкаприлат (2,9–3,2).

Проведенное исследование выявило перспективность разработанных инструментальных методик определения химического состава зерновых дистиллятов, которые могут быть использованы при разработке новых технологических приемов производства спиртных напитков.

Ключевые слова. Зерновой дистиллят, химический состав, древесина дуба, газовая хроматография, хромато-масс-спектрометрия, капиллярный электрофорез

Финансирование. Исследование проведено за счет средств субсидии на выполнение государственного задания (тема № FGMF-2025-0009).

Для цитирования: Шелехова Н. В., Абрамова И. М., Шелехова Т. М., Скворцова Л. И., Полтавская Н. В. Химический состав дистиллята из пшеницы в процессе выдержки в контакте с древесиной дуба. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 17–28. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2554>

Effect of Oak Wood Aging on Chemical Composition of Wheat Distillate



Natalya V. Shelekhova*, Irina M. Abramova, Tamara M. Shelekhova, Liubov I. Skvortsova, Natalya V. Poltavskaya

Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology, Moscow, Russia

Received: 20.03.2024
Revised: 22.04.2024
Accepted: 07.05.2024

*Natalya V. Shelekhova: 4953610101@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7735-2942>
Irina M. Abramova: <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>
Tamara M. Shelekhova: <https://orcid.org/0000-0003-3851-4034>
Liubov I. Skvortsova: <https://orcid.org/0000-0002-0737-0624>
Natalya V. Poltavskaya: <https://orcid.org/0000-0003-1266-523X>

© N.V. Shelekhova, I.M. Abramova, T.M. Shelekhova, L.I. Skvortsova, N.V. Poltavskaya, 2025



Abstract.

Traditionally, grain distillates are left to age in oak barrels. This process needs intensification, and this problem remains understudied despite numerous scientific publications. The study expands and clarifies the data on the chemical composition of grain distillates after a long-term contact with oak wood.

The research featured samples of 60% immature grain distillate from wheat harvested in 2023 and model solutions prepared from immature grain distillate in industrial oak chips (1.0×0.5 cm, Ecochips, France) subjected to a weak, medium, and strong heat treatment modes and stored in the dark for 7, 14, 21, and 28 days. The study relied on a combination of gas chromatography, chromatography / mass spectrometry, and capillary electrophoresis. The thermal treatment mode and extraction time were variables.

The authors developed a set of express methods to define the composition of volatile organic impurities and the ionic composition of grain distillates. Isoamylol, isobutanol, and 1-propanol were the most abundant higher alcohols ($\leq 80\%$ total volatile organic impurities). The variation ranges were 1 354.3–1 489.3 mg/dm³ for isoamylol, 235.0–261.9 mg/dm³ for isobutanol, and 119.6–134.9 mg/dm³ for 1-propanol. The Whiskey22 thematic spectral library provided a 90% identification accuracy. The aging affected not only the mass concentrations but also the list of ions. In the model solution with the highest degree of thermal treatment, the maximal concentrations belonged to acetates (67.3 mg/dm³), potassium (4.2 mg/dm³), phosphates (2.9 mg/dm³), lactates (2.4 mg/dm³), and chlorides (2.3 mg/dm³). The optimal ratios and ranges were as follows – isoamylol:isobutanol (5.7–5.9), isobutanol:1-propanol (1.9–2.0), ethyl caprate:ethyl laurate (2.1–2.3), and ethyl caprate:ethyl caprylate (2.9–3.2).

The new methods proved effective in determining the chemical composition of grain distillates and can be recommended for commercial production of alcoholic beverages.

Keywords. Grain distillate, chemical composition, oak wood, gas chromatography, chromatography / mass spectrometry, capillary electrophoresis

Funding. The research was part of State Assignment, research topic No. FGMF-2025-0009.

For citation: Shelekhova NV, Abramova IM, Shelekhova TM, Skvortsova LI, Poltavskaya NV. Effect of Oak Wood Aging on Chemical Composition of Wheat Distillate. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):17–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2554>

Введение

Зерновой дистиллят получают одно- или многократной перегонкой сброженного сусла из зерна злаковых культур. При приготовлении зерновых дистиллятов используют рожь, ячмень, кукурузу, пшеницу, ячменный и ржаной солод, тритикале и другие виды зернового сырья и солода. Дистиллят, находившийся в контакте с древесиной дуба, называют выдержанным.

В соответствии с ГОСТ 33723-2016, физико-химические показатели дистиллята должны соответствовать диапазонам, установленным нормативной документацией. Основными характеристиками, определяющими вкус и аромат напитков, приготовленных на основе дистиллятов, являются показатели физико-химических превращений, протекающих в процессе выдержки. По органолептическим показателям выдер-

жанный дистиллят должен обладать характерным ароматом исходного сырья с тонами древесины дуба, без постороннего привкуса.

Технологический процесс выдержки дистиллятов в дубовых бочках является ресурсозатратным, поэтому важны научные разработки, направленные на его интенсификацию. Значительная часть научных публикаций посвящена совершенствованию качественных характеристик спиртных дистиллированных напитков [1–5]. В технологии спиртных напитков древесина дуба нашла широкое применение [6]. Для интенсификации производственных процессов применяют дубовую клепку, стружку и щепу. Щепка представляет собой мелкую дробленую древесину с различной степенью фракционирования и термической обработки. Процесс выдержки дистиллятов с древесиной дуба в виде щепы или клепки максимально приближен к выдержке в дубовых бочках. Некоторые исследователи считают, что при использовании этого способа возможно контролирование и регулирование процесса обогащения дистиллята компонентами древесины [7, 8].

Весомый вклад в изучение химических процессов выдержки дистиллятов внесли научные исследования Т. И. Гугучкиной, Л. М. Джанполодяна, З. Н. Кишковского, А. Д. Лашхи, В. И. Личева, Э. Я. Мартыненко, В. М. Малтобара, Л. А. Оганесянца, И. В. Оселедцевой, А. Ф. Писарниченко, Ц. Л. Петросяна, Н. Т. Семенова, Н. Г. Сарисвили, И. М. Скурихина, М. С. Чаво, Ю. Ф. Якубы и других ученых. Несмотря на многочисленные исследования, проблема выявления закономерностей биохимических и физико-химических трансформаций, протекающих в ходе технологических процессов производства спиртных напитков, находящихся в контакте с древесиной дуба, по-прежнему остается актуальной.

Методология оптимизации производственных процессов в целях регулирования химического состава алкогольных напитков предполагает выбор критериев оценки технологических параметров приготовления дистиллятов [9–11]. Этими критериями могут служить как соотношения компонентов, так и массовые концентрации минорных примесей. Для установления критериев подлинности спиртных напитков необходим комплексный подход к определению химического состава, базирующийся на применении современных инструментальных методов анализа [12, 13].

Инструментальные методы значимы не только в исследовании химического состава алкогольной продукции, но и выявлении фальсификатов [14, 15]. Изучение закономерностей технологических процессов приготовления напитков на основе дистиллятов – важная научная задача. Расширение арсенала аналитических методик позволит проводить углубленные исследования химического состава зерновых дистиллятов, что будет способствовать разработке новых ресурсосберегающих технологий производства.

Аромат спиртных напитков обусловлен широким спектром химических соединений, включая высшие спирты, сложные эфиры, ацетали, альдегиды и летучие органические кислоты [16–19]. Анализ научной и патентной информации показал, что химический состав дистиллятов в значительной мере зависит от параметров технологического процесса выдержки в дубовых бочках [20]. Для получения более полной и достоверной информации о химическом составе спиртных напитков, приготовленных на основе зерновых дистиллятов, во Всероссийском научно-исследовательском институте пищевой биотехнологии (ВНИИПБТ) проведены исследования и разработаны: методика определения катионов методом капиллярного электрофореза, позволяющая с высокой степенью достоверности определять 5 целевых катионов за 6 мин; методика определения массовой концентрации анионов органических и неорганических кислот методом капиллярного электрофореза, обеспечивающая одновременное селективное определение 16 анионов органических и неорганических кислот в спиртных напитках за 10 мин; методика определения массовой концентрации летучих органических примесей методом газовой хроматографии для селективного определения 20 целевых компонентов летучих органических примесей за 20–25 мин; методика идентификации летучих органических примесей методом хромато-масс-спектрометрии, обеспечивающая надежность идентификации 20 летучих органических примесей не менее чем на 90 % за 19 мин [21, 22].

Изучение катионного и анионного состава летучих органических примесей зерновых дистиллятов при выдержке в контакте с дубовой щепой различной степени термической обработки с применением новых экспрессных инструментальных методик анализа является актуальным и своевременным направлением, развитие которого позволит не только получить новые научные данные о химическом составе, но и подтвердить гипотезы, основанные на результатах, полученных с применением методов мокрой химии, выдвинутые ранее другими исследователями [1].

Цель исследования – расширить и уточнить данные о химическом составе зерновых дистиллятов, находившихся в контакте с древесиной дуба, с применением методов газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии, капиллярного электрофореза.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили образцы невыдержанного зернового дистиллята крепостью 60 % из пшеницы урожая 2023 г. и модельные растворы. Характеристики пшеницы: сорная примесь – 2,0 %, зерновая примесь – 6,1 %, влажность зерна – 13,1 %, условная крахмалистость – 56,2 %, стекловидность – 32 %. Для приготовления модельных растворов использовали промышленные образцы дубовой щепы размером 1,0×0,5 см (Экочипс, Франция) слабой, средней

и сильной степени термической обработки. В мерные колбы объемом 1000 мл вносили невыдержанный дистиллят из пшеницы, помещали по 7 г щепы, выдерживали 7, 14, 21, 28 суток при температуре 20–25 °С в защищенном от света месте, периодически перемешивая. В качестве контрольного образца использовали исходные образцы дистиллята из пшеницы. Пробоподготовка заключалась в пропускании модельных растворов через шприцевые фильтры Merck Milipore с мембраной 45 мкм и диаметром 25 мм.

Все необходимые взвешивания проводили на аналитических весах непрямого действия GR200 (A&D, Япония) с погрешностью взвешивания не более $\pm 0,0003$ г, свидетельство о поверке № 155103577.

Хроматографическое исследование проводили на газовом хроматографе Agilent, модель 6850 с пламенно-ионизационным детектором (Agilent, США), свидетельство о поверке № 230695825. Использовали вспомогательное оборудование для газовой хроматографии: совмещенный генератор чистого азота и нулевого воздуха – модель ГЧА 21Д-60В (Россия), генератор чистого водорода – модель ГВЧ 12А (Россия). Хроматографическое разделение проводили на капиллярной колонке высокой полярности при следующих режимных параметрах: температура детектора – 200–240 °С, температура испарителя – 120–200 °С, коэффициент деления потока – 20:1, объем пробы – 0,5 мм³. Начальная температура термостата колонок была 70–80 °С, выдержка – 0,1 мин, программирование со скоростью 10–55 °С (7–8 мин), затем – программирование со скоростью от 10–220 °С (5 мин). Скорость потока азота 0,048–0,072 дм³/ч, скорость потока воздуха 18 дм³/ч, скорость потока водорода 1,8 дм³/ч. Время анализа – 27–30 мин. Границы относительной погрешности измерений не более 15 %.

В качестве референтного метода при подтверждении достоверности идентификации применялся метод газовой хромато-масс-спектрометрии с использованием хромато-масс-спектрометрической системы Маэстро, модель 7820 (Agilent-Интерлаб, США-Россия), свидетельство о поверке № 273563377. Разделение проводили при следующих режимных параметрах: объем вводимой пробы – 0,7 мкл, газ-носитель – гелий, температура инжектора – 150 °С, температура термостата – 75 °С, программирование температуры – до 220 °С, температура источника ионов – 230 °С. Регистрацию масс-спектров осуществляли в режиме SCAN в диапазоне масс m/z 19–600 а.е.м. Время анализа – 19–20 мин [21].

Для идентификации аналитов применяли библиотеку спектров NIST11 и разработанную нами тематическую библиотеку спектров Whiskey22. Электрофоретическое исследование проводили с применением системы капиллярного электрофореза PrinCE, модель 560 (PrinCE Technologies B.V., Нидерланды), свидетельство о поверке № 230695823. Детектор калибровали методом абсолютной калибровки. Анионный состав

определяли при следующих режимных параметрах: напряжение – +20–30 кВ, ввод пробы гидродинамический (давление – 30 мБар, время – 25 сек), кондуктометрическое детектирование, температура капилляра – +24 °С, время анализа – 10 мин. В процессе был использован кварцевый капилляр с внутренним диаметром 50 мкм, эффективной длиной 40 см, общей длиной 150 см. Катионный состав определяли при напряжении +30 кВ, температуре капилляра +20 °С, гидродинамическом вводе пробы 40 мБар в течение 25 сек, время анализа – 6 мин. Кварцевый капилляр имел внутренний диаметр 50 мкм, эффективную длину 15 см, общая длина составила 60 см. В обоих случаях границы относительной погрешности измерений составили не более 15 % [22].

Измерение водородного показателя проводили на рН-метре HI2002-03 (Германия), модель электрода HI 11310, свидетельство о поверке № 235671465.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе методом газовой хроматографии был исследован химический состав невыдержанного зернового дистиллята из пшеницы, который использовали в качестве контрольного образца при оценке результатов исследований и растворителя при приготовлении модельных растворов (табл. 1).

Эффект от комбинированного применения пламенно-ионизационного и масс-селективного детекторов для идентификации летучих примесей в дистиллированных напитках заключается в повышении достоверности идентификации, которая проводится на основании времени удерживания компонента и путем сравнения полученного масс-спектра с библиотечными Whiskey22 и NIST11. Экспериментально подтверждено, что тематическая спектральная библиотека Whiskey22 обеспечивает точность идентификации не менее 90 %.

Высшие спирты, сложные эфиры, органические кислоты могут синтезироваться в качестве продуктов метаболизма дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* в процессе биотрансформации полимеров зернового сырья в этанол. Перечень и массовые концентрации метаболитов зависят от вида и расы дрожжей, применяемых ферментных комплексов, характеристик зернового сырья, условий технологических процессов сбраживания.

Анализ результатов (табл. 1), полученных методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием, показал, что образец зернового дистиллята соответствует показателям, регламентируемым нормативной документацией для выдержанных и невыдержанных зерновых дистиллятов ГОСТ 33723-2016. Массовая концентрация альдегидов варьируется в диапазоне 10,0–350,0 мг/дм³, компонентов сивушного масла – 500–6000 мг/дм³, сложных эфиров – 10–1500 мг/дм³, фурфурола – менее 30,0 мг/дм³. Показатели безопасности зерновых дистиллятов (метиловый спирт) должны соответствовать требованиям,

Таблица 1. Состав летучих органических примесей невыдержанного зернового дистиллята

Table 1. Composition of volatile organic impurities in unaged grain distillate

Аналит	Результаты, полученные методом ГХ-ПИД		Результаты сопоставления масс-спектров, полученных методом ГХ-МСД, с соответствующими данными библиотеки		Содержание аналита к сумме идентифицированных летучих органических примесей, %
	Время удерживания, мин	Массовая концентрация, мг/дм ³	NIST11 (совпадение), %	Whiskey22 (совпадение), %	
Ацетальдегид	6,509	16,34 ± 2,45	81,4	90,2	0,85
Ацетон	7,743	0,65 ± 0,10	87,2	93,4	0,03
Этилацетат	8,692	38,39 ± 5,76	89,3	95,9	1,99
Метанол, (%об.)	8,937	0,0028 ± 0,0004	77,7	91,7	0,0015
2-пропанол	9,479	0,40 ± 0,06	93,1	98,8	0,02
1-пропанол	12,572	119,61 ± 17,94	82,6	92,6	6,21
Изобутанол	13,960	235,0 ± 35,3	78,9	95,7	12,19
Изоамилацетат	14,845	1,48 ± 0,22	71,5	94,3	0,08
1-бутанол	15,352	5,58 ± 0,84	84,8	94,2	0,29
Изоамилол	16,796	1354,30 ± 203,15	91,2	99,9	70,3
1-пентанол	17,708	0,15 ± 0,02	83,9	97,4	0,01
Этиллактат	19,616	1,43 ± 0,21	76,6	91,8	0,07
Этилкаприлат	20,942	4,14 ± 0,62	88,3	96,8	0,22
Уксусная кислота	21,463	15,99 ± 2,40	90,7	92,3	0,83
Фурфурол	21,811	0,31 ± 0,05	70,2	90,4	0,02
Этилкапринат	23,696	12,77 ± 1,91	83,1	95,6	0,66
Этиллаурат	23,055	5,74 ± 0,86	74,4	93,3	0,30
Фенилэтанол	27,317	115,00 ± 17,25	99,8	99,8	5,97

Таблица 2. Ионный состав невыдержанного зернового дистиллята

Table 2. Ionic composition of unaged grain distillate

Аналит	Массовая концентрация, мг/дм ³	Содержание аналита к сумме идентифицированных летучих органических примесей, %
Хлориды	0,10 ± 0,02	0,24
Сульфаты	0,61 ± 0,09	1,44
Формиаты	0,11 ± 0,02	0,26
Тартраты	0,07 ± 0,01	0,16
Сукцинаты	0,31 ± 0,05	0,73
Ацетаты	37,80 ± 5,70	88,93
Лактаты	0,77 ± 0,01	1,81
Бензоаты	1,77 ± 0,26	4,16
Аммоний	0,28 ± 0,04	0,66
Калий	0,30 ± 0,04	0,70
Кальций	0,15 ± 0,02	0,35
Натрий	0,22 ± 0,03	0,52
Магний	0,010 ± 0,002	0,02

установленным ТР ТС 021/2011, а именно не превышать значения 0,05 %об. Остальные обнаруженные соединения не нормируются.

Методом капиллярного электрофореза с применением разработанных нами методик исследован ионный состав невыдержанного зернового дистиллята (табл. 2).

Ионный состав образца представлен катионами, анионами органических и неорганических кислот, зарегистрированными в незначительных количествах. Суммарная массовая концентрация анионов составила 42,50 мг/дм³, катионов – 1,00 мг/дм³. При этом наибольшее значение зафиксировано для ацетат-ионов (37,80 мг/дм³).

Нормативной документацией ионный состав как выдержанных, так и невыдержанных зерновых дистиллятов не регламентирован. Дальнейшие исследования в данном направлении, включающие сбор, накопление и анализ статистических данных, позволят выявить маркерные соединения и сформулировать перечень аналитов, подлежащих мониторингу.

На втором этапе исследования с использованием щепы слабой (1), средней (2) и сильной (3) степени обжиги приготовлены модельные растворы дистиллята из пшеницы: ДП1, ДП2, ДП3 соответственно. Модельные растворы выдерживали 7, 14, 21 и 28 суток.

Массовые концентрации летучих органических примесей определялись методом газовой хроматографии, ионный состав – методом капиллярного электрофореза, водородный показатель – потенциометрическим методом.

В контрольном образце зафиксирован уровень рН 4,64. Анализ динамики водородного показателя модельных растворов на протяжении всего периода наблюдения показал колебания в диапазоне 4,51–5,02 рН (рис. 1).

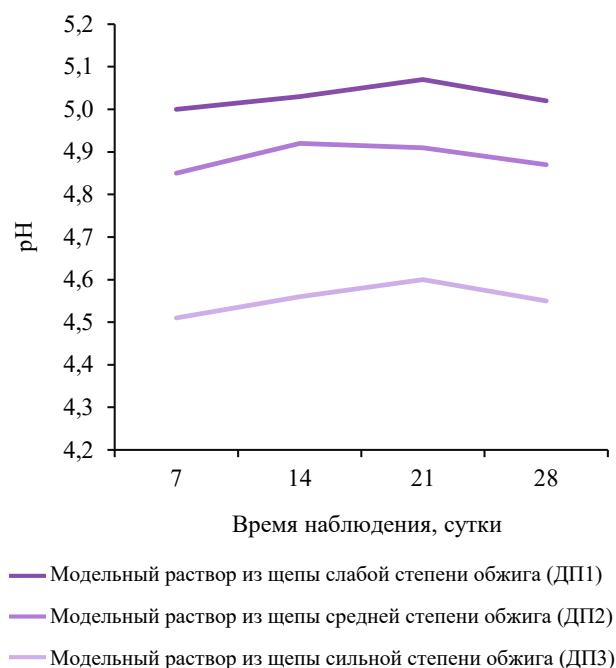


Рисунок 1. Динамика водородного показателя модельных растворов

Figure 1. Hydrogen index in model solutions

Наиболее низкий уровень pH в диапазоне 4,51–4,54 обнаружен в модельном растворе ДП3, затем следует ДП2 (pH 4,85–4,87) и ДП1 (pH 5,00–5,02). Найденные различия в значениях pH могут быть обусловлены степенью термической обработки щепы, используемой при приготовлении модельных растворов. Обнаружена некоторая корреляция между степенью термической обработки щепы и pH растворов: чем интенсивнее степень обжига щепы, тем ниже pH раствора.

В результате обработки экспериментальных данных, полученных методом газовой хроматографии, установлено, что в процессе выдержки в контакте с древесиной дуба в модельных растворах изменялись не только массовые концентрации летучих органических примесей, но и их перечень. В целях лучшей визуализации полученные данные сгруппированы по диапазонам концентрации (рис. 2).

Электрофоретическое исследование модельных растворов ДП1, ДП2, ДП3 показало, что в процессе выдержки изменялись не только массовые концентрации, но и перечень идентифицированных ионов (рис. 3, 4).

На 7 сутки было установлено увеличение суммарных массовых концентраций летучих органических примесей в модельных растворах по сравнению с контрольным образцом ДП (1927,3 мг/дм³): для ДП1 этот показатель составил 2043,2 мг/дм³, для ДП2 – 2102,7 мг/дм³. Такую динамику можно объяснить процессом экстракции наиболее легко извлекаемых

веществ из древесины в раствор на начальном этапе выдержки. В модельном растворе ДП3, приготовленном с использованием дубовой щепы сильной степени термической обработки, наблюдалось наибольшее суммарное значение летучих органических примесей – 2152,6 мг/дм³. Сопоставление полученных результатов с результатами определения pH (рис. 1) позволяет предположить, что интенсивность процесса экстракции коррелирует с уровнем водородного показателя: чем ниже уровень pH, тем выше уровень экстракции. Вполне вероятно, что степень деструкции древесины при обжиге оказывает влияние на процесс экстракции, чем и обусловлен более низкий уровень pH.

Во всех исследованных модельных растворах, в том числе и в контрольном образце, в наибольших концентрациях обнаружены высшие спирты: изоамилол, изобутанол и 1-пропанол – до 80 % к общей сумме идентифицированных летучих органических примесей. Значения массовых концентраций изоамилола варьировались в диапазоне 1354,3–1489,3 мг/дм³, изобутанола – 235,0–261,9 мг/дм³, 1-пропанола – 119,6–134,9 мг/дм³. Остальные спирты зарегистрированы в значительно меньших концентрациях (рис. 2).

Эфирам отводится важная роль в формировании органолептических показателей спиртных напитков, приготовленных на основе дистиллятов. Эфиры могут образовываться как продукты метаболизма спиртовых дрожжей, так и вследствие реакции этерификации. Анализ состава эфиров показал, что в наибольших концентрациях присутствует этилацетат (37,8–41,6 мг/дм³), этилкаприлат (12,0–13,0 мг/дм³) и этиллаурат (5,5–5,9 мг/дм³) (рис. 2).

В ходе технологического процесса выдержки дистиллятов в контакте с древесиной дуба могут образовываться химические соединения, как положительно, так и отрицательно влияющие на органолептические характеристики будущего напитка. Например, уксусная кислота относится к нежелательным примесям, придающим напитку кислый вкус и неприятный аромат. В свою очередь к желаемым примесям относят такие вещества, как фенилэтанол, обладающий ароматом розы; фурфурол с ароматом хлебной корочки; этиллактат, имеющий сладкий, фруктовый, эфирный, маслянистый аромат, и др.

Анализ полученных результатов (рис. 2) выявил нарастание фенилэтанола во всех исследованных модельных растворах. Максимальная концентрация найдена в модельном растворе ДП2 – 133,3 мг/дм³, приготовленном с использованием щепы средней степени обжига. Присутствие фенилэтанола в контрольном образце объясняется его образованием в результате метаболизма дрожжей-сахаромицетов в ходе спиртового брожения. По мнению А. Ф. Писарниченко, при созревании дистиллятов из ванилиновой, феруловой и парокumarовой кислот образуются различные химические соединения, в том числе и фенилэтанол, что косвенно подтверждает настоящее исследование [23].

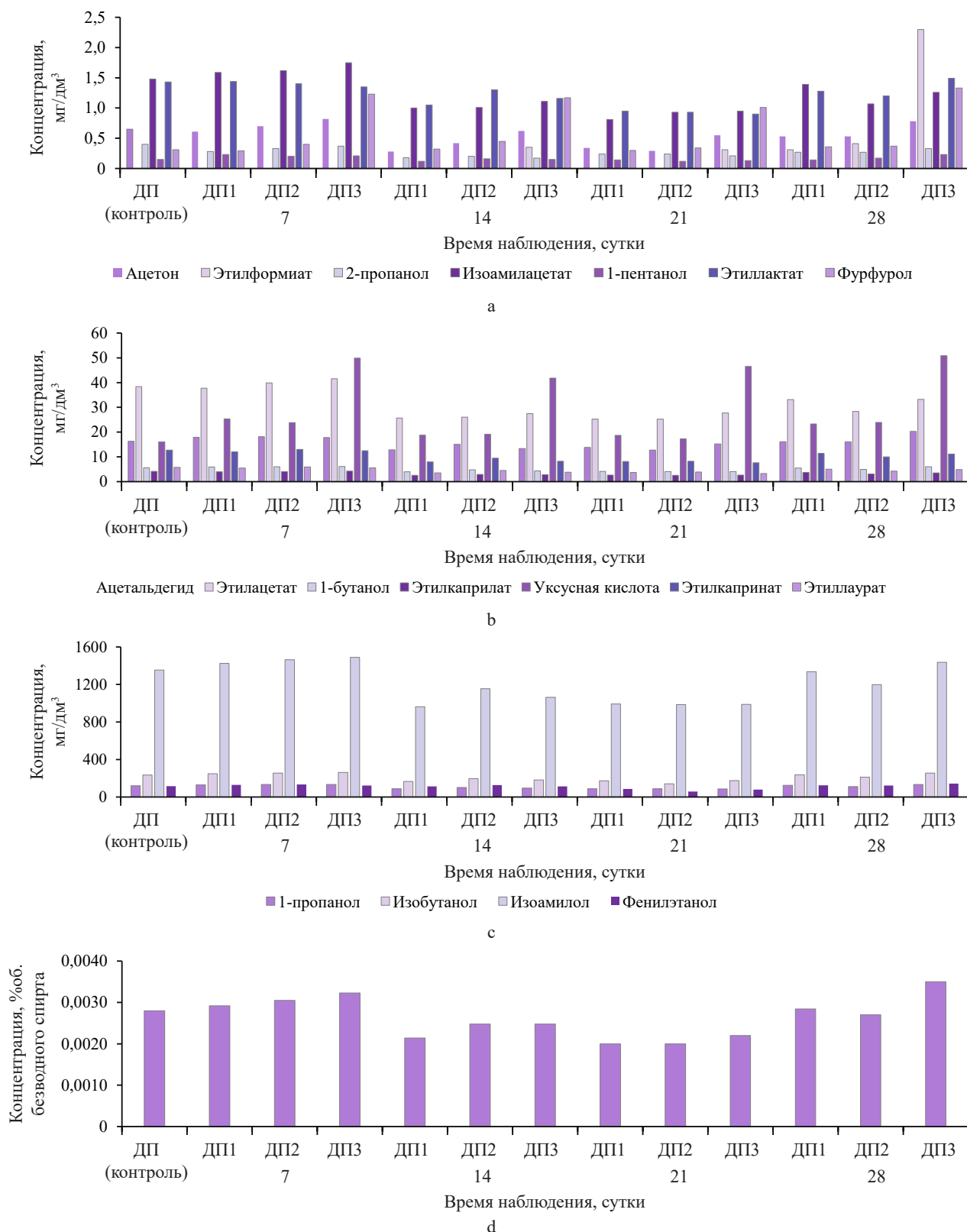


Рисунок 2. Идентифицированные летучие органические примеси: а – 1-пентанол, 2-пропанол, ацетон, изоамилацетат, фурфурол, этиллактат, этилформиат; б – 1-бутанол, ацетальдегид, уксусная кислота, этилацетат, этилкаприлат, этилкапринат, этиллаурат; в – 1-пропанол, изоамилол, изобутанол, фенилэтанол; г – метанол

Figure 2. Volatile organic impurities: а – 1-pentanol, 2-propanol, acetone, isoamyl acetate, furfural, ethyl lactate, and ethyl formate; б – 1-butanol, acetaldehyde, acetic acid, ethyl acetate, ethyl caprylate, ethyl caprate, and ethyl laurate; в – 1-propanol, isoamylol, isobutanol, and phenylethanol; г – methanol

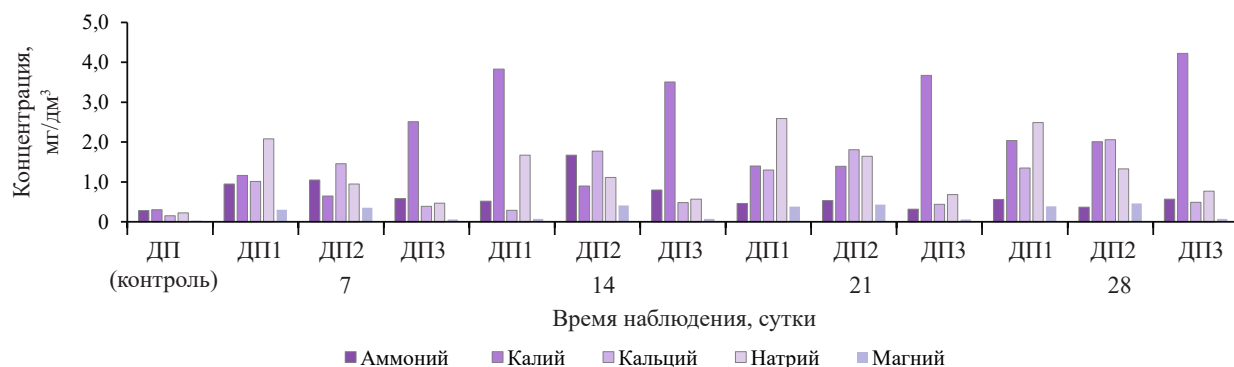


Рисунок 3. Катионный состав исследованных образцов зерновых дистиллятов

Figure 3. Cationic composition of grain distillates

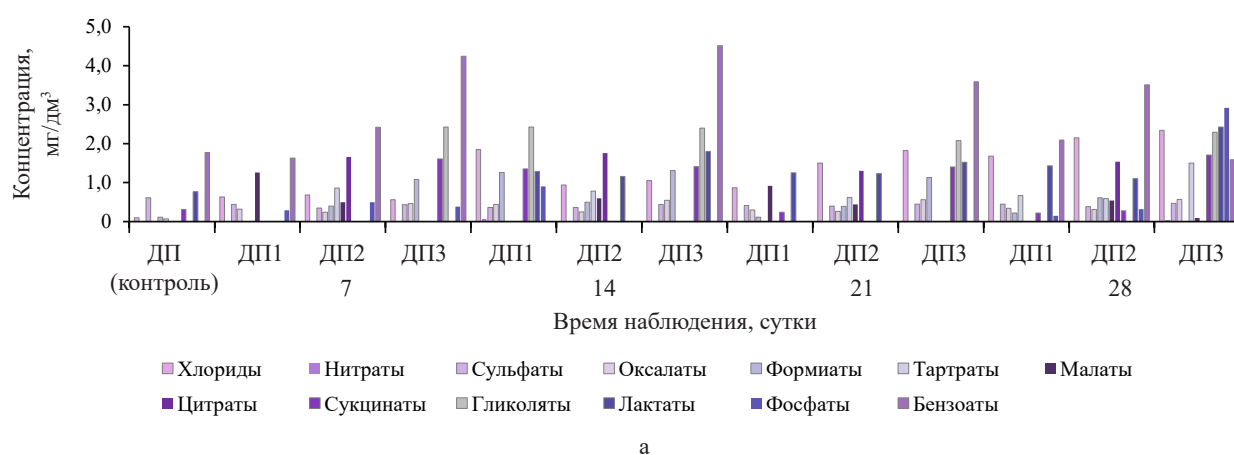


Рисунок 4. Анионный состав модельных образцов зерновых дистиллятов: а – хлориды, нитраты, сульфаты, оксалаты, формиаты, тартраты, малаты, цитраты, сукцинаты, гликоляты, лактаты, фосфаты, бензоаты; б – ацетаты

Наиболее значительные изменения в модельных растворах по отношению к контрольному образцу наблюдались по динамике уксусной кислоты, которая имела следующие показатели: ДП (контрольный образец) – 16,0 мг/дм³, ДП1 – 25,3 мг/дм³, ДП2 – 23,78 мг/дм³, ДП3 с наибольшим показателем 49,9 мг/дм³. Следует отметить, что повышенное содержание уксусной кислоты приводит к снижению рН раствора и, соответственно, протеканию химических реакций в кислой среде.

Уксусная кислота образуется в процессе термической обработки древесины дуба и при контакте с дистиллятами участвует в синтезе фурфурола и муравьиной кислоты. В состав древесины дуба входят пентозаны, в кислой среде гидролизующиеся до пентоз, которые затем дегидратируются до фурфурола [1]. Установлено, что концентрация фурфурола увеличилась по отношению к контрольному образцу ДП – 0,3 мг/дм³, максимальные концентрации были обнаружены в модельном

растворе ДПЗ – 1,2 мг/дм³. Присутствие фурфурола в контрольном образце ДП можно объяснить химическими реакциями, протекающими в процессе дистилляции. Принято считать, что в перегонном кубе фурфурола образуется больше, чем в колонне.

Метиловый спирт (метанол) – бесцветная жидкость с характерным запахом этилового спирта, опасный для человека загрязнитель. Органолептическое определение метанола в зерновых дистиллятах невозможно, однако его присутствие легко установить методом газовой хроматографии. Исследование показало, что содержание метанола в контрольном образце ДП составило 0,0028 ‰, в модельных растворах: ДП1 – 0,00292 ‰, ДП2 – 0,00305 ‰, ДПЗ – 0,00323 ‰. Наличие метанола объясняется процессами метаболизма дрожжей *S. cerevisiae*, а его образование в модельных растворах при выдержке в контакте с древесиной – гидролизом пектиновых веществ дубовой щепы. Можно предположить, что кроме прочих факторов сильная степень термической обработки щепы оказывает влияние на концентрацию метанола.

По данным литературных источников, общее содержание минеральных соединений в древесине дуба составляет не менее 0,1–1,0 %. Кальций, калий, магний, натрий, железо, медь, а также их соединения в процессе выдержки дистиллятов в контакте с древесиной дуба могут проявить себя как катализаторы окислительно-восстановительных реакций, в результате которых происходит созревание крепких алкогольных напитков [1, 24].

Анализ статистической обработки результатов электрофоретического исследования выявил увеличение суммарных массовых концентраций в модельных растворах по сравнению с контрольным образцом ДП (42,5 мг/дм³): ДП1 – 48,2 мг/дм³, ДП2 – 51,4 мг/дм³, ДПЗ – 83,2 мг/дм³. Наибольшие концентрации идентифицированных катионов и анионов обнаружены в модельном растворе ДПЗ, приготовленном с применением щепы сильной степени термической обработки. Так, в модельном растворе ДПЗ содержание формиатов по сравнению с контрольным образцом увеличилось в 16,4 раза, сукцинатов – 5,2 раза, ацетатов – 1,8 раза, бензоатов – 2,4 раза, калия – 8,4 раза. В модельном растворе ДПЗ зафиксировано образование гликолятов (2,4 мг/дм³) и фосфатов (0,4 мг/дм³).

Таким образом, начальный этап наблюдений характеризовался существенным увеличением концентраций летучих и нелетучих компонентов, в том числе и их суммарного содержания. На основании вышеизложенного можно предположить, что сильная степень термической обработки вызывает более интенсивную деструкцию клеток древесины дуба, способствуя большей экстракции веществ, что косвенно подтверждает проведенное нами исследование.

На 14 сутки исследование модельных растворов показало, что суммарные массовые концентрации летучих органических примесей по сравнению с дан-

ными, полученными на 7 сутки, значительно снизились: ДП1 – 1408,79 мг/дм³, ДП2 – 1665,12 мг/дм³, ДПЗ – 1559,98 мг/дм³. Одновременно зафиксировано незначительное повышение уровня pH для всех исследованных модельных растворов. Установлена тенденция снижения массовых концентраций некоторых летучих компонентов (этилакпринат, этиллаурат, фенилэтанол и др.), оказывающих положительное влияние на органолептическую оценку. Выявлено снижение концентрации метилового спирта: ДП1 – 0,00214 ‰, ДП2 – 0,00248 ‰, ДПЗ – 0,00248 ‰ (рис. 2), что можно объяснить его участием в реакции этерификации.

В модельном растворе ДПЗ обнаружено образование этилформиата с массовой концентрацией 0,35 мг/дм³. Этилформиат – этиловый эфир муравьиной кислоты, бесцветная жидкость с характерным ароматом рома и вкусом малины, образующийся при реакции этилового спирта с муравьиной кислотой. Формиаты (ионы муравьиной кислоты) в массовой концентрации 1,08 мг/дм³ образовались в модельном растворе ДПЗ на 7 сутки; на 14 сутки их концентрация увеличилась до 1,31 мг/дм³ (рис. 4). Муравьиная кислота синтезируется дрожжами *S. cerevisiae* при биосинтетической конверсии полимеров зернового сырья, где пируват окисляется до формиата и других побочных метаболитов. Кроме того, муравьиная кислота может образоваться и непосредственно при термическом распаде веществ древесины.

С применением метода капиллярного электрофореза установлено, что суммарная массовая концентрация идентифицированных ионов практически не изменилась: ДП1 – 46,2 мг/дм³, ДП2 – 53,1 мг/дм³, ДПЗ – 86,3 мг/дм³. По всей видимости, это объясняется завершением периода активной экстракции и началом фазы активных химических реакций, характеризующихся образованием новых летучих и нелетучих соединений.

На 21 сутки наблюдалось дальнейшее снижение суммарной концентрации летучих органических примесей в модельных растворах: ДП2 – 1346,9 мг/дм³ и ДПЗ – 1439,0 мг/дм³. Обнаружено незначительное увеличение суммарной массовой концентрации летучих примесей в ДП1 – 1419,2 мг/дм³, однако данное различие не является статистически значимым, поскольку составляет 10,4 мг/дм³, что соответствует 0,7 %, и не может использоваться в качестве критерия. Анализ суммарных массовых концентраций летучих органических примесей показал, что снижение продолжается, но не носит интенсивного характера. Таким образом, выявлена тенденция к повышению уровня pH для всех исследованных модельных растворов.

Метод капиллярного электрофореза демонстрирует, что суммарная концентрация всех идентифицированных ионов практически не изменилась и составила для ДП1 – 46,9 мг/дм³, ДП2 – 47,4 мг/дм³, ДПЗ – 82,0 мг/дм³. Важно отметить, что в образце ДПЗ, приготовленном с использованием щепы сильной степени обжига, прослеживаются наибольшие концентрации

ацетатов ($64,4 \text{ мг/дм}^3$) и калия – ($3,67 \text{ мг/дм}^3$), а также наименьшие концентрации натрия ($0,68 \text{ мг/дм}^3$).

Результаты, полученные на 28 сутки, позволили выявить общую тенденцию значительного нарастания суммарной концентрации летучих примесей: ДП1 – $1419,2 \text{ мг/дм}^3$, ДП2 – $1346,87 \text{ мг/дм}^3$, ДП3 – $1438,96 \text{ мг/дм}^3$. В образцах ДП1 и ДП2 обнаружено образование этилформиата массовой концентрацией $0,31$ и $0,41 \text{ мг/дм}^3$ соответственно, в образце ДП3 концентрация этилформиата увеличилась с $0,31$ до $2,30 \text{ мг/дм}^3$. Наблюдали увеличение массовой концентрации фенолэтанола, оказывающего положительное влияние на органолептическую оценку спиртных дистиллированных напитков. В итоге зафиксировано снижение уровня pH для всех исследованных модельных растворов.

При анализе данных, полученных методом капиллярного электрофореза, установлено, что суммарная концентрация идентифицированных ионов имела тенденцию к нарастанию и составила для ДП1 – $53,10 \text{ мг/дм}^3$, ДП2 – $55,1 \text{ мг/дм}^3$, ДП3 – $90,0 \text{ мг/дм}^3$. В максимальных концентрациях ацетаты ($67,30 \text{ мг/дм}^3$), калий ($4,20 \text{ мг/дм}^3$), фосфаты ($2,92 \text{ мг/дм}^3$), лактаты ($2,43 \text{ мг/дм}^3$), хлориды ($2,34 \text{ мг/дм}^3$) обнаружены в модельном растворе ДП3. На основании сравнения полученных данных с контрольным образцом можно предположить, что на конечном этапе эксперимента установилось относительное равновесное состояние большинства исследуемых компонентов.

В процессе выдержки дистиллятов в контакте с древесиной дуба из нее экстрагируются летучие и нелетучие компоненты, которые при определенных условиях вступают в химические реакции друг с другом, диссо-

циируют, вследствие чего их концентрации изменяются. В дальнейшем при замедлении процессов экстракции химических соединений из древесины дуба возрастает влияние реакций гидролиза и окисления. Процессы экстракции направлены в сторону химического равновесия, поэтому они обратимы [1], что подтверждают результаты проведенного исследования.

Интенсивность образования высших спиртов при брожении зависит от характеристик исходного сырья и рас используемых дрожжей, уровень эфиров зависит от технологических приемов, применяемых в ходе процесса сбраживания и дистилляции. Их содержание может изменяться в ходе технологического процесса созревания невыдержанных дистиллятов в контакте с древесиной дуба.

Анализ состава летучих органических примесей показал, что особый интерес для исследования представляет динамика некоторых спиртов и эфиров, обнаруженных в наибольших концентрациях. По экспериментальным данным рассчитаны соотношения изоамилол:изобутанол, изобутанол:1-пропанол, этилкаприлат:этиллаурат, этилкаприлат:этилкаприлат и установлены их характерные диапазоны (рис. 5).

Значение соотношения изоамилол:изобутанол варьировалось в диапазоне $5,7\text{--}5,9$, изобутанол:1-пропанол – $1,9\text{--}2,0$, этилкаприлат:этиллаурат – $2,1\text{--}2,3$, этилкаприлат:этилкаприлат – $2,9\text{--}3,2$. Анализ показал, что, несмотря на значительные колебания массовых концентраций целевых аналитов в модельных растворах, их соотношения остаются практически неизменными, что позволяет использовать эти данные для дальнейших исследований, направленных на выявление маркеров для контроля качества зерновых дистиллятов.

Выводы

Предложен новый комплексный подход, основанный на применении методов газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии и капиллярного электрофореза для определения химического состава зерновых дистиллятов.

Экспериментально подтверждена применимость разработанных методик анализа для определения массовых концентраций летучих органических примесей, катионов, анионов органических и неорганических кислот в выдержанных и невыдержанных зерновых дистиллятах.

Сформирован массив экспериментальных данных о химическом составе зерновых дистиллятов, позволяющий расширить перечень идентификационных показателей в контроле качества и безопасности алкогольной продукции. Установлены характерные диапазоны соотношений изоамилол:изобутанол, изобутанол:1-пропанол, этилкаприлат:этиллаурат, этилкаприлат:этилкаприлат. Показано, что сильная степень термической обработки дубовой щепы оказывает наибольшее влияние на протекание химических реакций в модельных растворах.

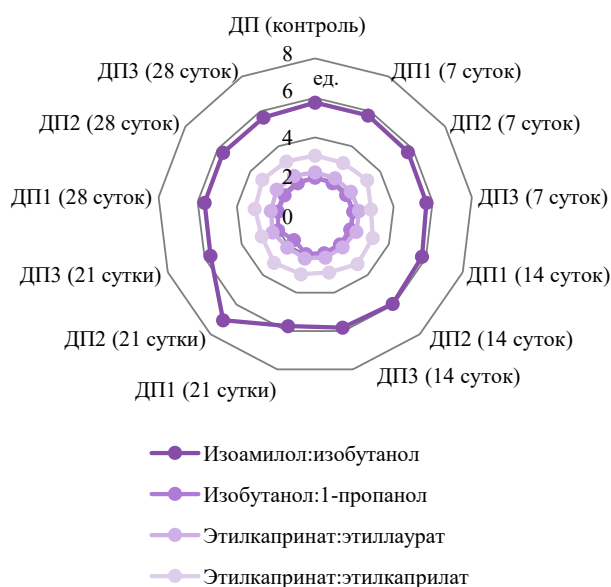


Figure 5. Correlation between analytes

Полученные в ходе настоящего исследования данные согласуются с известными теориями и общепризнанными закономерностями. Результаты исследования и найденные корреляции могут быть использованы для выявления маркеров контроля качества технологических процессов производства зерновых дистиллятов. Комплексное применение методов газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии, капиллярного электрофореза и других инструментальных методов анализа позволит получить новые и более полные научные данные о химическом составе зерновых дистиллятов и подтвердить выдвинутые ранее гипотезы.

Критерии авторства

Исследование было задумано, реализовано, проанализировано и описано авторами коллективно.

Рукопись вычитана и принята в представленной версии как окончательная всеми авторами.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Скурихин И. М. О химических процессах, происходящих при выдержке коньячных спиртов в дубовых бочках. Виноделие и виноградарство СССР. 1960. № 1. С. 8–15. [Skurikhin IM. On the chemical processes that occur during aging of cognac spirits in oak barrels. Winemaking and Viticulture of the USSR. 1960;(1):8–15. (In Russ.)]
2. Okolo CA, Kilcawley KN, O'Connor C. Recent advances in whiskey analysis for authentication, discrimination, and quality control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2023;22(6):4957–4992. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13249>
3. Оганесянц Л. А., Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В., Швецов С. Д. Оценка перспектив применения активаторов брожения в технологии дистиллятов из плодов кизила. *Ползуновский вестник*. 2020. № 3. С. 24–30. [Oganesyants LA, Krikunova LN, Dubinina EV, Shvets SD. Evaluation of the fermentation activators use prospects in the technology of cornelian cherries distillates. *Polzunovskiy Vestnik*. 2020;(3):24–30. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.004>
4. Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В., Песчанская В. А., Ободеева О. Н. Влияние активной кислотности на качественные характеристики дистиллятов. *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52. № 4. С. 694–705. [Krikunova LN, Dubinina EV, Peschanskaya VA, Obodeeva ON. Acidification in distillation technology. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(4):694–705. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2399>
5. Лутков И. П., Ермолин Д. В. Сравнение типичных свойств напитков с различным содержанием этанола. *Техника и технология пищевых производств*. 2023. Т. 53. № 2. С. 404–414. [Lutkov IP, Yermolin DV. Typical properties of beverages with different ethanol content: A comparative analysis. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(2):404–414. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2444>
6. Carpena M, Pereira AG, Prieto MA, Simal-Gandara J. Wine aging technology: Fundamental role of wood barrels. *Foods*. 2020;9(9):1160. <https://doi.org/10.3390/foods9091160>
7. Tarko T, Krankowski F, Duda-Chodak A. The impact of compounds extracted from wood on the quality of alcoholic beverages. *Molecules*. 2023;28(2):620. <https://doi.org/10.3390/molecules28020620>
8. Flamini R, Panighel A, De Marchi F. Mass spectrometry in the study of wood compounds released in the barrel-aged wine and spirits. *Mass Spectrometry Reviews*. 2023;42(4):1174–1220. <https://doi.org/10.1002/mas.21754>
9. Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В., Свиридов Д. А., Томгорова С. М. Методология оптимизации режимов дистилляции на основе критериев оценки качества продукта. *Техника и технология пищевых производств*. 2023. Т. 53. № 2. С. 326–334. [Krikunova LN, Dubinina EV, Sviridov DA, Tomgorova SM. Assessment-based optimization of distillation parameters. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(2):326–334. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2437>
10. Rimareva LV, Serba EM, Overchenko MB, Shelekhova NV, Ignatova NI, *et al*. Enzyme complexes for activating yeast generation and ethanol fermentation. *Foods and Raw Materials*. 2022;10(1):127–136. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-20>
11. Verges VL, Gollihue JW, Joyce GE, DeBolt S. Lab-scale methodology for new-make bourbon whiskey production. *Foods*. 2023;12(3):457. <https://doi.org/10.3390/foods12030457>
12. Aylott R, MacKenzie WM. Analytical strategies to confirm the generic authenticity of scotch whisky. *Journal of Institute of Brewery*. 2010;116:215–229. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00424.x>
13. Cody RB, Fukudome T, Ubukata M. Integrated data analysis making use of the total information from gas chromatography and high-resolution time-of-flight mass spectrometry to identify qualitative differences between two whisky samples. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2022;36(3):9225. <https://doi.org/10.1002/rcm.9225>

14. Гниломедова Н. В., Аникина Н. С., Колеснов А. Ю. Методические подходы к определению географического происхождения вин. Обзор. Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 231–246. [Gnilomedova NV, Anikina NS, Kolesnov AYU. A review of methodological approaches to authenticating the geographical origin of wines. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):231–246. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2429>
15. Cook GT, Dunbar E, Tripney BG, Fabel D. Using carbon isotopes to fight the rise in fraudulent whisky. Radiocarbon. 2020;62(1):51–62. <https://doi.org/10.1017/RDC.2019.153>
16. Лутков И. П., Макаров А. С., Шмигельская Н. А. Исследование качества молодых игристых вин из крымских автохтонных сортов винограда. Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 1. С. 1–17. [Lutkov IP, Makarov AS, Shmigelskaya NA. Quality assessment of young sparkling wines of Crimean indigenous grape varieties. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(1):1–17. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2483>
17. Шелудько О. Н., Прах О. В., Чемисова Л. Э., Бехметов Р. Н. Влияние винных и виноградных спиртов на качество напитков из виноградного сырья. Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 1. С. 18–26. [Sheludko ON, Prakh AV, Chemisova LE, Bakhmetov RN. Effect of wine and grape spirits from table grape varieties on sensory profile of grape beverages. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(1):18–26. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2484>
18. Li J, Zhang Q, Sun B. Chinese baijiu and whisky: Research reservoirs for flavor and functional food. Foods. 2023;12(15):2841. <https://doi.org/10.3390/foods12152841>
19. Ashmore PL, DuBois A, Tomasino E, Harbertson JF, Collins TS. Impact of dilution on whisky aroma: A sensory and volatile composition analysis. Foods. 2023;12(6):1276. <https://doi.org/10.3390/foods12061276>
20. Guerrero-Chanivet M, Valcárcel-Muñoz MJ, García-Moreno MV, Guillén-Sánchez DA. Characterization of the aromatic and phenolic profile of five different wood chips used for ageing spirits and wines. Foods. 2020;9(11):1613. <https://doi.org/10.3390/foods9111613>
21. Шелехова Н. В. Экспресс метод определения анионов в алкогольных напитках на основе сочетания КЭ-КД. Сорбционные и хроматографические процессы. 2023. Т. 23. № 2. С. 199–215. [Shelekhova NV. Express method for the determination of anions in alcoholic beverages based on the CE-CD combination. Sorption and Chromatography Processes. 2023;23(2):199–215. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11144>
22. Шелехова Н. В. Экспресс-метод определения летучих органических примесей в спиртных дистиллированных напитках на основе сочетания ГХ/ПИД и ГХ/МСД. Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т. 22. № 1. С. 58–68. [Shelekhova NV. Express method to determine volatile organic impurities in alcoholic distilled beverages based on a combination of GC/FID and GC/MSD. Sorption and Chromatography Processes. 2022;22(1):58–68. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/9021>
23. Писарницкий А. Ф. Ароматобразующие вещества вин и коньяков: дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.04. М., 1980. 364 с. [Pisarnitsky AF. Flavoring agents in wines and cognacs. Dr. Sci. Biol. Diss. Moscow, 1980. 364 p. (In Russ.)]
24. Карякин А. В., Петросян Ц. Л., Джанполадян Л. М. Минеральный состав древесины коньячных бочек. Виноделие и виноградарство СССР. 1972. № 4. С. 23–24. [Karyakin AV, Petrosyan TsL, Dzhanpoladyan LM. Mineral composition of wood in cognac barrels. Winemaking and Viticulture of the USSR. 1972;(4):23–24. (In Russ.)]

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2553>
<https://elibrary.ru/WBNHUK>

Original article
Available online at <https://fppt.ru/en>

Chemical Composition of Essential Oils from *Citrus fortunella* (Kumquat) and Its Mutants



Fatümetüzzebra Küçükbay^{1,*}, Çağrı Büyükkormaz¹,
Gülmira Özek², Temel Özek²

¹ İnönü University, Malatya, Türkiye

² Anadolu University, Eskişehir, Türkiye

Received: 25.06.2024

Revised: 30.09.2024

Accepted: 01.10.2024

*Fatümetüzzebra Küçükbay: zehra.kucukbay@inonu.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0001-7784-4138>
Çağrı Büyükkormaz: <https://orcid.org/0000-0002-4238-3586>
Gülmira Özek: <https://orcid.org/0000-0001-8908-6098>
Temel Özek: <https://orcid.org/0000-0003-4251-8783>

F. Küçükbay, Ç. Büyükkormaz, G. Özek, T. Özek, 2025



Abstract.

Kumquat, known as the little jewel of the citrus family, is a fruit of the plant *Citrus japonica* Thunb. or *Fortunella japonica* Swingle. Kumquat is widely grown for its fruit, but such parts of the plant as leaves and bark are left as waste without being utilized. Therefore, we aimed to determine the chemical composition of essential oils from kumquat fruit and leaves (main species and 6 mutants) grown at the Mersin Alata Horticultural Research Institute.

The fruits and leaves of *Citrus fortunella* trees were collected and their essential oils were obtained by hydrodistillation. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was performed to analyze the components of the essential oils.

Among the essential oil components determined by GC-MS analysis, limonene (69.9–94.4%) was detected at the highest levels in the fruit essential oil, while the leaf essential oil was rich in elemol (13.2–14.8%), β -eudesmol (9.3–11.0%), α -guaiol (8.5–10.8%), spathulenol (8.1–10.5%), and alismol (6.5–7.9%). Our results showed that essential oil can be produced as a by-product from the leaves and fruits of *C. fortunella* trees.

Kumquat fruit and leaf essential oils contain large amounts of chemical components with potential biological activity, both major and minor. Therefore, they can be used as an herbal resource in different industrial fields such as medicine, perfumery, and cosmetics.

Keywords. Kumquat, *Citrus fortunella*, essential oils, limonene, elemol, β -eudesmol, α -guaiol, spathulenol, alismol

Funding. The authors thank İnönü University, Turkey for financial support (BAPB – Grant No. TYL-2018-1108).

For citation: Küçükbay F, Büyükkormaz Ç, Özek G, Özek T. Chemical Composition of Essential Oils from *Citrus fortunella* (Kumquat) and Its Mutants. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):29–44. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2553>

Химический состав эфирных масел кумквата (*Citrus fortunella*) и мутантов



Ф. Зехра Кючукбай^{1,*}, Чагры Бююккормаз¹,
Гюльмира Озек², Темел Озек²

¹ Университет Инёню^{ROR}, Малатья, Турция

² Анатолийский университет^{ROR}, Эскишехир, Турция

Поступила в редакцию: 25.06.2024
Принята после рецензирования: 30.09.2024
Принята к публикации: 01.10.2024

*Ф. Зехра Кючукбай: zehra.kucukbay@inonu.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0001-7784-4138>
Чагры Бююккормаз: <https://orcid.org/0000-0002-4238-3586>
Гюльмира Озек: <https://orcid.org/0000-0001-8908-6098>
Темел Озек: <https://orcid.org/0000-0003-4251-8783>

Ф. Кючукбай, Ч. Бююккормаз, Г. Озек, Т. Озек, 2025



Аннотация.

Кумкват (*Citrus japonica* или *Fortunella japonica*) – растение семейства цитрусовых, плоды которого широко применяются в пищевой промышленности, однако его листья и кора, как правило, выбрасываются в качестве отходов. Цель данной работы – изучить химический состав эфирных масел, полученных из плодов и листьев кумквата основного вида и шести мутантов (Институт растениеводства «Mersin Alata», Турция).

Эфирные масла плодов и листьев кумквата получали методом гидродистилляции. Компонентный анализ эфирных масел проводили при помощи газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС).

В эфирном масле из плодов самым распространенным компонентом оказался лимонен (69,9–94,4 %); в эфирном масле из листьев – элемол (13,2–14,8 %), β -эудесмол (9,3–11,0 %), α -гвайол (8,5–10,8 %), спатуленол (8,1–10,5 %) и алисмол (6,5–7,9 %). Согласно полученным результатам, эфирное масло может производиться как побочный продукт из листьев и плодов *C. fortunella*.

Эфирные масла плодов и листьев кумквата содержат большое количество химических компонентов с разным уровнем биологической активности, что делает возможным их использование в качестве источника растительного сырья в различных областях промышленности, таких как медицина, парфюмерия или производство косметики.

Ключевые слова. Кумкват, *Citrus fortunella*, эфирные масла, лимонен, элемол, β -эудесмол, α -гвайол, спатуленол, алисмол

Финансирование. Исследование было выполнено при финансовой поддержке университета Инёню, Турция (BAPB, грант № TYL-2018-1108).

Для цитирования: Кючукбай Ф., Бююккормаз Ч., Озек Г., Озек Т. Химический состав эфирных масел кумквата (*Citrus fortunella*) и мутантов. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 29–44. (На англ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2553>

Introduction

Herbal medicine has been used for centuries and many traditional cultures still rely on it as their primary form of healthcare. Despite today's prevalence of synthetic and semi-synthetic drugs, there has been a renewed interest in natural medicines due to concerns about the side effects of modern drugs. Many people prefer to use natural remedies as they are believed to be safer and have fewer side effects [1–3].

Herbal medicines are increasingly being used in developed countries as a way to maintain good health and prevent disease, rather than just to treat illness. One of the reasons for this is that herbal medicines often have

multiple indications and can be used to address a wide range of health concerns [2]. However, herbal medicines must still meet certain criteria for safety, effectiveness, and purity to ensure that they do not have negative effects on human health. Additionally, the effects of herbal medicines often result from a combined action of multiple bioactive compounds found in the plant, rather than just one single active ingredient. This makes it more difficult to study the effects of herbal medicines compared to chemical medicines [4, 5]. Since isolated bioactive compounds may not have the same effect as their combination in a plant, whole plant extracts are often preferred in traditional medicine.

In recent years, there has been an increased interest in natural food and nutritional supplements to promote good health. Tropical and subtropical plants are believed to have protective effects on health due to their unique chemical structures and essential oils. Kumquat, a tropical fruit, is a member of the same family as citrus fruits, but is classified in a different genus. Kumquat has a unique flavor, with a sour flesh and sweet peel, due to the presence of flavonoids and terpenoids. This flavor has a characteristic citrus taste [6, 7]. Like other citrus fruits, kumquat is a rich source of vitamin C, which helps to strengthen the immune system. Additionally, the terpenoids and flavonoids found in the peel of the fruit make it beneficial to consume the peel as well. Kumquat is also used in a variety of culinary applications, such as jams, marmalades, liquors, confectionery, pickles, and dried products. The fruit is known for its unique sweet-sour flavor and its versatility in cooking [8–10]. The essential oil obtained from the bark of the kumquat tree is also used in perfumery, pharmacy, and food industry. The oil has a distinct citrus aroma, which makes it a common ingredient in a variety of products such as perfumes, cleaning agents, and food flavorings. Kumquat essential oil is also applied in traditional medicine for its multiple therapeutic properties, including antioxidant, antifungal, anti-proliferation, and anti-inflammatory effects [10–12].

Kumquat was first described in China in 118 BC. Its name is thought to have originated from the Cantonese language, where it is literally translated as “golden orange,” or “golden tangerine,” meaning “golden luck”. The name “kumquat” is a combination of two words, “gold” and “good luck” (or “quat” in Cantonese), reflecting a belief that this fruit brings good luck and prosperity. The fruit was also considered as a symbol of wealth and prosperity due to its golden color and round shape. Kumquat is known by a variety of names in different languages, such as cumquat, jinju, and kinkan. In Türkiye, it is also known as “golden orange”.

The chemistry of essential oils of *Citrus fortunella* and its mutants studies the chemical compounds present in the essential oils of kumquat fruits and leaves, as well as any variations in these compounds that may occur in different kumquat cultivars or mutants. This research is important for several reasons. Firstly, understanding the composition and quality of kumquat essential oils is important for the food and beverage, cosmetics, and pharmaceuticals industries. Secondly, this research can provide insights into the genetic and environmental factors that influence the chemical composition of kumquat essential oils. Thirdly, it can become a basis for evaluating various kumquat by-products. Noteworthy, while some kumquat mutants have been found to have different chemical contents in their essential oils, further research is needed to fully understand the potential therapeutic benefits of these compounds and to confirm their effectiveness in preventing disease.

Kumquat, a tropical fruit that has both a delicious taste and a rich nutritional profile, is becoming increasingly popular in Türkiye. The cities of Antalya, Alanya, Anamur, Mersin, and Rize, which have hot climates, are especially well-suited for growing kumquats. There have been significant investments in kumquat production in these areas and people’s awareness about the fruit is also increasing. More and more people are consuming this healthy and delicious fruit. Despite its small size and delicate appearance, kumquat’s popularity in Türkiye is expected to rise. However, there is still a lack of research on the chemical content of kumquat and its by-products, which makes it difficult to provide accurate information about the nutritional profile and potential health benefits of this fruit. This also limits the awareness of kumquat’s potential uses. Therefore, more research is needed to explore the potential benefits of this fruit and increase the awareness of its potential as a medicinal plant.

With the increased production of kumquat in Türkiye, it is important to explore ways to make use of the chemical contents in its fruit and by-products. Producers should focus not only on cultivating kumquat fruit for consumption, but also on using its by-products, especially those considered as waste, as high value-added compounds. Yet, scientific literature lacks data on the essential oils from kumquat fruits and leaves grown in Turkey. Therefore, we aimed to determine the components of essential oils obtained by hydrodistillation from the fruit and leaves of *C. fortunella* rootstock species and 6 mutants in the Mersin region. Future studies should focus on isolating and producing active substances that may have financial value, and creating a roadmap to bring these products to market according to their properties. This will help to increase the competitiveness of kumquat in the market and create new opportunities for its use in different industries.

Study objects and methods

Plant materials. The *Citrus Fortunella* fruit and leaf samples used in the study were obtained from the Mersin Alata Horticultural Research Institute, the Ministry of Agriculture and Forestry, in January and November 2018. We studied the samples from the rootstock species (EP (Old Parcel); EP.4, EP.29, EP.31) and six mutants (YP (New Parcel); YP.117, YP.141, YP.188) (Fig. 1). The leaf samples were dried at room temperature and stored in a dry and cool environment. The fresh fruits were frozen, sliced into 2 mm thickness, and dried in a lyophilizer for 72 h. This method of preservation and drying ensured that the samples were in the best condition for the analyses.

Essential oil extraction procedure. Kumquat essential oils were obtained by hydrodistillation. For this, 20 g of dried plant material was mixed with 250 mL of distilled water and placed in a 500 mL round bottom flask. The mixture was distilled for three hours using



Figure 1. *Citrus Fortunella* fruit and leaf samples

Рисунок 1. Образцы плодов и листьев кумквата (*Citrus Fortunella*)

a Clevenger-type apparatus. The process was repeated three times in parallel for each plant material. After distillation, the essential oil was collected in a capillary tube and then transferred to a separating funnel. A small amount of *n*-hexane was added to the mixture and the essential oil was separated from the water. The oil was then transferred to a tared dark vial and stored at 4°C until analysis.

Gas chromatography-mass spectrometry. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis was performed with an Agilent 5975 GC-MSD system (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA). An Agilent Innowax FSC column (60 m×0.25 mm, 0.25 µm film thickness) was used with He as a carrier gas (0.8 mL/min). The GC oven temperature was kept at 60°C for 10 min, increased to 220°C at a rate of 4°C/min, kept constant at 220°C for 10 min, and then increased to 240°C at a rate of 1°C/min. The split ratio was adjusted to 40:1, and the injector temperature was 250°C. MS spectra were monitored at 70 eV, with a mass range of 35 to 450 m/z.

GC analysis was performed on an Agilent 6890N GC system. To obtain the same elution order as with GC-MS, the line was split for the flame ionization detector (FID) and the MS detector, and a single injection was performed using the same column and appropriate operational conditions. The FID temperature was 300°C. The essential oil components were identified by comparing their mass spectra with those in the Wiley GC/MS Library (Wiley, NY, USA) and Adams Library. A C₈–C₄₀ *n*-alkane standard solution was used to spike the samples to determine relative retention indices. Relative percentage amounts of the separated compounds were calculated by analyzing the FID chromatograms.

Results and discussion

The essential oil components of kumquat fruit and leaves were analyzed by comparing the mass spectra of each component to the mass spectra of the original samples from the Adams Library and literature (Table 1). The main component of kumquat fruit essential oil is limonene. Limonene is a terpene compound that is found

in high concentrations in many citrus fruits and is responsible for their characteristic citrus smell. The percentage of limonene in kumquat fruit essential oil can vary depending on the variety of kumquat, the method of extraction, and the growing conditions. It was reported that the percentage of limonene in kumquat fruit essential oil ranges from 69.9–94.4%.

The composition of essential oils in the *Citrus fortunella* leaves is different from that in the fruit samples. The main components of kumquat leaf essential oils are elemol (13.2–14.8%), β-eudesmol (9.3–11.0%), α-guaiol (8.5–10.8%), spathulenol (8.1–10.5%), and alismol (6.5–7.9%). These compounds are terpenoids that are typically found in high concentrations in essential oils of leaves and twigs of many plants. They are known for their medicinal properties such as anti-inflammatory, anti-cancerous, and anti-bacterial properties [13].

For our study, kumquat fruits and leaves were harvested at the Mersin Alata Horticultural Research Institute, the Ministry of Agriculture and Forestry, in January and November 2018. The essential oils were obtained by applying the hydrodistillation technique, which is commonly used to extract essential oils from plant materials. The chemical contents and composition of the essential oils were determined using GC and GC-MS analysis. Numerous components were identified in both the fruit and leaf essential oils of kumquat.

Limonene was the main component in the essential oil of kumquat fruit. Our results were in line with previous studies [14–16]. Limonene is a terpene compound that is found in high concentrations in essential oils of citrus fruits and many other plant species, including kumquat fruit. Limonene gives citrus fruits their characteristic citrus smell.

Limonene is a cyclic molecule (C₁₀H₁₆) that can exist in two symmetrical forms, D-Limonene and L-Limonene. The D-form is found in higher concentrations in the essential oil of citrus fruits [15], while the L-form is found in the essential oil of mint and other plants. Limonene has many applications as a flavoring agent in the food industry and perfumery, as well as in cleaning products. It is also used as an intermediate in the production of other compounds such as carvone. Limonene has been reported to have some medicinal properties such as anti-inflammatory and anti-cancerous effects [17–24]. Limonene is also a sweetening agent listed as Generally Recognized as Safe (GRAS) by the US Food and Drug Administration [25].

In addition to being used for aromatizing purposes in the cosmetics industry, limonene is also used in drug production to facilitate the *in vitro* and *in vivo* percutaneous passage of drugs [26–29]. Roberto *et al.* observed a greater antioxidant effect in lymphocytes exposed to 1–1000 µg/mL limonene and H₂O₂ at lower concentrations (10–50 µg/mL) than at higher concentrations (100–1000 µg/mL). Furthermore, the radical scavenging effect was similarly greater at lower concentrations

Table 1. Essential oil contents in *Citrus Fortunella* fruit and leaves
Таблица 1. Содержание эфирных масел в плодах и листьях кумквата (*Citrus Fortunella*)

RRI	Compound	EP4 - Leaf extracts	EP29- Leaf extracts	EP31- Leaf extracts	YP.117- Leaf extracts	YP.141- Leaf extracts	YP.188- Leaf extracts	EP.4- Extracts from lyophilized fruit	EP.29- Extracts from lyophilized fruit	EP.31- Extracts from lyophilized fruit	YP.117 - Extracts from lyophilized fruit	YP.141- Extracts from lyophilized fruit	YP.188- Extracts from lyophilized fruit	YP.117- Extracts from fresh fruit	Kumquat- Leaf	Kumquat- Lyophilized
900	Nonane	GS780A	GS780B	GS780C	GS780D	GS780E	GS780F	GS780G	GS780H	GS780I	GS780K	GS780L	GS780M	GS780N	GS780P	GS780R
931	2-Propanol										t	0.1	t	t	1.2	
965	1-Methylcyclohexa- 1,3-diene									t	t					
1000	Decane												t			
1024	2-Butanol														0.9	
1032	α -Pinene							0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2		0.3
1035	α -Thujene											t				
1048	2-Methyl-3-buten- 2-ol	0.2								t	t		t	0.1		t
1076	Camphene									t	t		t			
1093	Hexanal									t	t			t		
1100	Undecane									t	t			t		
1118	β -Pinene									t	t	t	t	t		t
1132	Sabinene									t	0.1	t	t	t		t
1159	δ -3-Carene												t			
1174	Myrcene							1.3	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.1		1.6
1176	α -Phellandrene											t	t			
1188	α -Terpinene												t			t
1203	Limonene					4		82.3	94	93.8	94.4	91.4	92.3	69	0.2	92.5
1218	β -Phellandrene							0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1		0.2
1223	<i>p</i> -Mentha-1,3,6- triene									t			t	t		t
1224	<i>o</i> -Mentha-1(7),5,8- triene								t		t	t				
1225	(Z)-3-Hexenal	0.6		0.1									t	t	0.4	
1253	<i>trans</i> - Anhydrolinalool oxide									t	t		t			t
1255	γ -Terpinene										t	t	t			t
1266	(E)- β -Ocimene										t		t			
1280	<i>p</i> -Cymene							0.1	t	0.1	t	t	t	t		0.1
1290	Terpinolene									t	t	t	t	t		t
1300	Tridecane										t					

Continuation of Table 1

RRI	Compound	EP4 - Leaf extracts	EP29- Leaf extracts	EP31- Leaf extracts	YP.117- Leaf extracts	YP.141- Leaf extracts	YP.188- Leaf extracts	EP4- Extracts from lyophilized fruit	EP29- Extracts from lyophilized fruit	EP31- Extracts from lyophilized fruit	YP.117 - Extracts from lyophilized fruit	YP.141- Extracts from lyophilized fruit	YP.188- Extracts from lyophilized fruit	YP.117- Extracts from fresh fruit	Kumquat- Leaf	Kumquat- Lyophilized
		GS780A	GS780B	GS780C	GS780D	GS780E	GS780F	GS780G	GS780H	GS780J	GS780K	GS780L	GS780M	GS780N	GS780P	GS780R
1280	<i>p</i> -Cymene							0.1	t	0.1	t	t	t	t		0.1
1290	Terpinolene									t	t	t	t	t		t
1300	Tridecane										t					
1319	(<i>E</i>)-2,6-Dimethyl- 1,3,7-nonatriene									t	t					
1320	Hydroxyacetone									t				t		
1327	3-Methyl-2-butenol									t	t					
1329	Pinol									t	t	0.1	t	t		t
1360	Hexanol	0.2	0.3	0.1										t	0.3	
1385	Heptyl acetate										t					
1400	Nonanal												t			
1400	Tetradecane										t		t			
1408	1,3,8- <i>p</i> -Menthatriene										t		t			
1410	4,8-Dimethyl-1,3,7- nonatriene									t	t			t		
1412	(<i>E</i>)-2-Hexenol	0.1												t		
1429	Perillen									t	t			t		
1443	2,5- Dimethylstyrene												0.1			
1446	2,6-Dimethyl- 1,3(<i>E</i>),5(<i>Z</i>),7- octatetraene												t			
1450	<i>trans</i> -Linalool oxide (Furanoid)											0.1				
1452	<i>α</i> , <i>p</i> -Dimethylstyrene							0.1	0.1	0.1	0.1			0.1		0.2
1458	<i>cis</i> -1,2-Limonene epoxide							0.3	t	0.2	0.1	t		0.2		0.1
1466	<i>α</i> -Cubebene										t			t		
1468	<i>trans</i> -1,2-Limonene epoxide							0.1		0.1	0.1	t		0.1		0.1
1479	<i>δ</i> -Elemene	0.2	0.3	0.4	0.5		0.4	0.1						0.2	0.2	
1483	Octyl acetate								0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			0.1
1493	<i>α</i> -Ylangene	t	t	0.1	0.1		0.1				t			t		
1495	Bicycloelemene		t		0.1		t						t			
1497	<i>α</i> -Copaene	0.1	t	0.1	0.1		0.1			t	t	t	t	t		t

Continuation of Table 1

RRI	Compound	EP4 - Leaf extracts	EP29- Leaf extracts	EP31- Leaf extracts	YP117- Leaf extracts	YP141- Leaf extracts	YP188- Leaf extracts	EP4- Extracts from lyophilized fruit	EP29- Extracts from lyophilized fruit	EP31- Extracts from lyophilized fruit	YP117 - Extracts from lyophilized fruit	YP141- Extracts from lyophilized fruit	YP188- Extracts from lyophilized fruit	YP117- Extracts from fresh fruit	Kumquat- Leaf	Kumquat- Lyophilized
1500	Pentadecane				GS780D	GS780E	GS780F	GS780G	GS780H	GS780J	GS780K	GS780L	GS780M	GS780N	GS780P	GS780R
1506	Decanal															
1528	α -Bourbonene	t	t	t	t		t	t			t	0.1	0.1	t		0.1
1532	Camphor									t	t		t			
1535	β -Bourbonene	0.1	0.2	0.2	0.3		0.4	0.1			t		t	0.1	0.1	
1549	β -Cubebene	0.1			0.1			t		t	t		t	t		
1550	<i>cis</i> -Dihydro- α -terpineol	t														
1553	Linalool							0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2		0.1
35	8,9-Limonene epoxide I									t	t			t		t
1562	Octanol									t	t		t	t		
1568	1-Methyl-4- acetylcyclohex-1- ene*							t		t	t		t	t		t
1572	8,9-Limonene epoxide II							t		t	t			t		t
1589	β -Ylangene				0.2						t		t			t
1600	Hexadecane												t			
1600	β -Elemene	1.2	2.4	2.2	3	1.1	3	0.4	t	t	t	t	t	0.7	1.2	t
1610	Calarene (= β -gurjunene)									t				t		
1608	β -Copaene	0.1	t		t					t	t			t		t
1611	Terpinen-4-ol							t	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1
1612	β -Caryophyllene	1.1	2.4	2.3	3.1	1.6	3.3	0.2					t	0.3	1.1	
1616	Hotrienol									t	t		t			t
1617	6,9-Guaiadiene		t													
1624	<i>trans</i> - Dihydrocarvone									t	t					
1628	Aromadendrene				0.2											
1637	<i>p</i> -Menth-1-en-9-al									t		t				0.1
1638	β -Cyclocitral															
1639	<i>trans-p</i> -Mentha-2,8- dien-1-ol							0.1		0.1	0.1		t	0.1		0.1
1641	<i>cis</i> - β -Terpineol							0.1	0.1	0.1	t	0.1	0.1	0.2		

Continuation of Table 1

RRI	Compound	EP4 - Leaf extracts	EP29- Leaf extracts	EP31- Leaf extracts	YP.117- Leaf extracts	YP.141- Leaf extracts	YP.188- Leaf extracts	EP4- Extracts from lyophilized fruit	EP29- Extracts from lyophilized fruit	EP31- Extracts from lyophilized fruit	YP.117 - Extracts from lyophilized fruit	YP.141- Extracts from lyophilized fruit	YP.188- Extracts from lyophilized fruit	YP.117- Extracts from fresh fruit	Kumquat- Leaf	Kumquat- Lyophilized
1650	γ -Elemene	GS780A 0.4	GS780B 0.6	GS780C 0.5	GS780D 0.8	GS780E	GS780F 1.1	GS780G t	GS780H	GS780J t	GS780K t	GS780L	GS780M t	GS780N 0.1	GS780P 0.3	GS780R t
1661	Alloaromadendrene			0.1												
1667	β -Guaiene	0.5														
1668	Citronellyl acetate									t	t	t	t			t
1669	Safranal									t	t	t	t			
1678	<i>cis-p</i> -Mentha-2,8- dien-1-ol							0.1	t	0.1	0.1	t	t	0.1		0.1
1687	α -Humulene	0.5	0.9	0.8	1.1	0.6	1.1	0.1	t		t	t	t	0.2	0.5	
1688	Selina-4,11-diene (=4,11-Eudes- madiene)															
1690	Cryptone									t	t					t
1694	Drima-7,9(11)-diene			0.1	0.1			t						t		
1695	(<i>E</i>)- β -Farnesene							t	t							
1696	γ -Terpinyl acetate											t				
1700	Heptadecane											t	t			
1700	<i>p</i> -Mentha-1,8-dien- 4-ol (=Limonen- 4-ol)									t	t		t	t		t
1704	γ -Murolene								t							t
1705	Zizanene		0.9	0.9	1.3	0.9	1.3	t						0.2	0.9	
1706	α -Terpineol							0.8	0.2	0.4	0.2	0.5	0.6	0.5		0.2
1707	δ -Selinene		0.2		0.2											
1708	Ledene							t		t	t	t				t
1715	Geranyl formate									t			t			t
1715	γ -Terpineol												t			
1722	Dodecanal									t			t			
1726	Germaene D	1.2	0.7	0.8	1.2	0.7	0.8	0.1	0.5	0.2	0.2	0.6	0.6	0.1	1.5	0.4
1737	(<i>Z,E</i>)- α -Farnesene									t						
1738	<i>p</i> -Mentha-1,5-dien- 8-ol												t			
1740	α -Murolene	0.9		0.1	0.2			t		t	t	t	t	t		t
1740	Valencene		t		t							0.1	t	t		
1741	<i>cis</i> - α -Bisabolene									t						
1742	β -Selinene	0.9	1.5	1.5	1.6	0.7	1.9	0.4			t		t	0.6	0.8	t

Continuation of Table 1

RRI	Compound	EP4 - Leaf extracts	EP29- Leaf extracts	EP31- Leaf extracts	YP117- Leaf extracts	YP141- Leaf extracts	YP188- Leaf extracts	EP4- Extracts from lyophilized fruit	EP29- Extracts from lyophilized fruit	EP31- Extracts from lyophilized fruit	YP117 - Extracts from lyophilized fruit	YP141- Extracts from lyophilized fruit	YP188- Extracts from lyophilized fruit	YP117- Extracts from fresh fruit	Kumquat- Leaf	Kumquat- Lyophilized
		GS780A	GS780B	GS780C	GS780D	GS780E	GS780F	GS780G	GS780H	GS780J	GS780K	GS780L	GS780M	GS780N	GS780P	GS780R
1743	α -Cadinene										t					
1744	α -Selinene	0.2	0.3	t	0.2			t		t			t	0.1		t
1747	<i>trans</i> -Carvyl acetate												t			t
1751	Carvone							0.6			0.1			0.5		
1755	Bicyclogermacrene	0.2	0.9	0.5	0.8	0.5	0.9		0.1		t	t	0.1		0.2	t
1758	(<i>E,E</i>)- α -Farnesene											t	t			
1765	Geranyl acetate							t	0.5	0.4		0.4	0.3			0.5
1773	δ -Cadinene	0.3	0.5	0.4	0.5	0.3	0.6	t	t	t	t	0.1	0.1	t	0.4	0.1
1776	γ -Cadinene	0.2	0.1	0.1	0.2		0.2	t		t	t	t	t	0.1	0.1	t
1779	Bourbon-11-ene	t														
1782	<i>cis</i> -Carvyl acetate									t	t					
1796	Selina-3,7(11)-diene															
1796	Cabreuva oxide-V										t					
1797	<i>p</i> -Methyl acetophenone							t		t	t		t	t		t
1799	Cadina-1,4-diene (=Cubenene)												t			
1807	Perilla aldehyde							0.1	0.1	t	0.1	t	0.1	0.1		0.1
1808	Cabreuva oxide-VI										t	t	t			
1811	<i>trans</i> - <i>p</i> -Mentha- 1(7),8-dien-2-ol							t								
1824	Cabreuva oxide-VI									t						
1825	Geranyl propionate									t	0.3	t	t			t
1845	<i>trans</i> -Carveol							0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4	0.5	0.3
1853	<i>cis</i> -Calamenene				0.4		t	0.1		t	t					t
1853	Itallicene ether				t											
1854	Germacrene-B	0.4	0.6	0.4	0.2		0.4		t							
1857	Geraniol															
1864	<i>p</i> -Cymen-8-ol								t	t	t	t	t	t		t
1865	Isopiperitenone							0.1			t	t	t			t
1871	<i>p</i> -Mentha-1,8-dien- 10-yl acetate							t	t	t	t	t	t			t
1882	<i>cis</i> -Carveol							0.2	0.1	0.1	t	0.1	0.1	0.2		0.1

Continuation of Table 1

RRI	Compound	EP4 - Leaf extracts	EP29- Leaf extracts	EP31- Leaf extracts	YP.117- Leaf extracts	YP.141- Leaf extracts	YP.188- Leaf extracts	EP4- Extracts from lyophilized fruit	EP29- Extracts from lyophilized fruit	EP31- Extracts from lyophilized fruit	YP.117 - Extracts from lyophilized fruit	YP.141- Extracts from lyophilized fruit	YP.188- Extracts from lyophilized fruit	YP.117- Extracts from fresh fruit	Kumquat- Leaf	Kumquat- Lyophilized
		GS780A	GS780B	GS780C	GS780D	GS780E	GS780F	GS780G	GS780H	GS780J	GS780K	GS780L	GS780M	GS780N	GS780P	GS780R
1896	<i>cis-p</i> -Mentha- l(7),8-diene-2-ol									t	t					
1900	<i>epi</i> -Cubebol			0.1											0.4	
1907	<i>α</i> -Agarofuran			0.1										0.1		
1916	Perilla acetate									t	t	t				t
1941	<i>α</i> -Calacorene	0.2	0.2	0.2	0.3		0.3			t	t		t	t		t
1945	1,5-Epoxy-salvial- (4)14-ene	0.9	0.8	1.3	1.2	0.7	1.2	0.1			t			0.1	0.7	
1953	Palustrol												t			
1957	Cubebol				0.2			t								
1981	<i>cis</i> -Guai-6-en-10-ol	1.9			0.1		2.5								1.7	
1984	<i>γ</i> -Calacorene						0.1			t	t			t		
2000	Eicosane												t			
2001	Isocaryophyllene oxide		2.2					0.1						0.2		
2008	Caryophyllene oxide	3	4.4	4.3	3.7	4.5	4.4	0.7						1.2	3.4	
2008	<i>p</i> -Mentha-1,8-dien- 10-ol									t						
2028	Junenol								0.1	0.1	t	0.1	0.1			0.1
2029	Perilla alcohol									t	t		t			t
2037	Salvial-4(14)-en- 1-one	0.5	0.2	0.3	0.3		0.2	t						0.1	0.7	
2050	(<i>E</i>)-Nerolidol	4	4.9	4	3.9	5.9	4	0.4	0.1	t	t	t	t	0.9	4.2	
2057	Ledol				0.1						t	t	t			
2071	Humulene epoxide-II	0.6	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.2						0.3	0.7	
2074	Cubeban-11-ol									t	t		t			t
2080	Cubebol												t			t
2081	1,10-di- <i>epi</i> -Cubebol	0.3														
2096	Elemol	14.8	13.4	14.8	14.1	13.2	13.8	1.4						3	14.6	
2097	Eurolargone B	0.8	0.8	1.1	1											
2097	Salviadienol	0.7		t	0.4									0.2	0.8	
2098	Globulol							0.1		t	t			0.1		t
2100	Henicosane									t	t	t	t			t
2104	Viridiflorol					0.8	0.8	0.1		t	t	t	t	0.2	0.8	t

Continuation of Table 1

RRI	Compound	EP4 - Leaf extracts	EP29- Leaf extracts	EP31- Leaf extracts	YP117- Leaf extracts	YP141- Leaf extracts	YP188- Leaf extracts	EP4- Extracts from lyophilized fruit	EP29- Extracts from lyophilized fruit	EP31- Extracts from lyophilized fruit	YP117 - Extracts from lyophilized fruit	YP141- Extracts from lyophilized fruit	YP188- Extracts from lyophilized fruit	YP117- Extracts from fresh fruit	Kumquat- Leaf	Kumquat- Lyophilized
2115	4-Hydroxy-4-methyl-cyclohex-2-enone	GS780A	GS780B	GS780C	GS780D	GS780E	GS780F	GS780G	GS780H	GS780J	GS780K	GS780L	GS780M	GS780N	GS780P	GS780R
2127	10- <i>epi</i> - γ -Eudesmol		1.0	1.2	0.9	1.0	1.2	0.1		t	t		t	0.2		
2144	Rosifolol	0.1			0.2					t	t	t	t			t
2144	Spathulenol	9.7	9.4	9.2	8.1	10.4	8.6	1.0	0.1	t	t	t	t	2.3	10.5	0.1
2156	α -Bisabolol oxide B									t	t		t			t
2185	γ -Eudesmol	1.9	1.4	1.5	1.6	1.7	1.6	0.3	0.1	0.1	t	0.1	0.1	0.5	1.4	0.1
2187	T-Cadinol	2.2	2.5	2.4	2.3	2.6	2.5	0.3						0.6		
2190	Eremoligenol	5	5	4.7	4.6	5.4	4.8	0.4		t	t		t	0.7	5.3	t
2192	α -Guaiaol	9.4	9.9	9.5	8.5	10.8	9.6		0.1	t	t	t	t	2.5	10.02	
2200	Docosane											0.1	t			t
2209	T-Muurolol							0.1		t	t	0.1	0.1			0.1
2226	Methyl hexadecanoate (=methyl palmitate)										t	t	t			t
2237	Valerianol	2.3	2.5	2.3	2.2	2.4	2.3	0.3		t	t			0.5	2.2	t
2250	α -Eudesmol	4.0	4.3	3.8	3.8	4.8	4.2	0.3		t	t	t	t	0.7	3.7	t
2255	α -Cadinol				1.7			0.2	0.1	0.1	t	0.1	0.1			0.1
2256	Torilenol	0.8													0.7	
	(=1-hydroxy-6,8-cyclo-4(14)-eudesmene)															
2257	β -Eudesmol	10.2	10.8	10	9.3	11	10.6	1.6		t	t	t	t	3.3	9.9	t
2289	Alismol (=Guaia-6,10(14)-diene-4 β -ol)	6.8	6.8	6.5	6.6	7.9	6.8	0.8		t	t	t	t	1.6	7.0	t
2273	Selin-11-en-4 α -ol									t	t	t				t
2298	Decanoic acid											t	t			
2300	Tricosane							0.1	0.1	t	t	0.2	0.1	0.1		0.1
2320	Juniper camphor												t			
2368	Eudesma-4(15),7-diene-1 β -ol	1.2	0.5	0.7	0.6		0.5	0.1						0.3	1.4	t

End of Table 1

RRI	Compound	EP4 - Leaf extracts	EP29- Leaf extracts	EP31- Leaf extracts	YP117- Leaf extracts	YP141- Leaf extracts	YP188- Leaf extracts	EP4- Extracts from lyophilized fruit	EP29- Extracts from lyophilized fruit	EP31- Extracts from lyophilized fruit	YP117 - Extracts from lyophilized fruit	YP141- Extracts from lyophilized fruit	YP188- Extracts from lyophilized fruit	YP117- Extracts from fresh fruit	Kumquat- Leaf	Kumquat- Lyophilized
2392	Caryophylla- 2(12),6-dien-5 β -ol (=Caryophyllenol II)	GS780A	GS780B	GS780C 0.4	GS780D	GS780E	GS780F	GS780G	GS780H	GS780J	GS780K	GS780L	GS780M	GS780N	GS780P	GS780R
2400	Tetracosane									t	t	0.3	0.1			t
2456	(Z)-9-Methyl octadecanoate (=Methyl oleate)										t	t				t
2462	Eudesma-4(15),7- diene-1-ol isomer I	1	0.4	0.7	0.6											
2500	Pentacosane									t	t	0.4	0.1	0.1		0.1
2503	Dodecanoic acid									t	t		t	t		t
2509	(Z,Z)-9,12-Methyl octadecadienoate (=Methyl linoleate)									t	t		t			t
2583	Methyl linolenate									t	t		t			t
2600	Hexacosane										t	0.3	0.1			
2604	α -Costol				0.1											
2606	β -Costol				0.2											
2622	Phytol			0.2	0.2									0.1		
2630	epi-Nootkatol*	0.2														
2637	2 α -Hydroxy- amorpha-4,7(11)- diene*	0.2														
2670	Tetradecanoic acid (=Myristic acid)													t		
2694	14-Hydroxy- calamenene													t		
2700	Heptacosane									t	t	0.3	0.1	t		
2800	Octacosane											0.2				
		92.4	95	91.8	94	94.2	96.3	97.5	99.2	98.9	98.8	98.9	98.4	95.9	90.92	98.2

Note: *Tentative identification from Adams.

Примечание: *Предварительные показатели взяты из библиотеки данных Adams.

(10–50 µg/mL) than at higher concentrations (100–1000 µg/mL) [30]. This suggests that limonene has antioxidant properties and may be able to protect cells from oxidative stress caused by hydrogen peroxide. However, it is important to note that more studies are needed to fully understand the mechanisms of antioxidant activity of limonene and its potential therapeutic applications.

Choi studied the essential oil of *Fortunella japonica* Swingle peel using GC and GC-MS analysis [31]. In the study, myrcene was found to be the second dominant component in the essential oil, with a concentration of 1.84%. This value is in agreement with myrcene concentrations in our study (1.10–1.80%). Myrcene is a terpene compound that is commonly found in essential oils of many plants and is known for its sedative and anti-inflammatory properties [31]. As seen in Table 1, the main components of leaf essential oils of kumquat are elemol (13.2–14.8%), β -eudesmol (9.3–11.0%), α -guaiol (8.5–10.8%), spathulenol (8.1–10.5%) and alismol (6.5–7.9%). These are terpenoids that are typically found in high concentrations in essential oils of leaves and twigs of many plants. It is important to note that the essential oil of kumquat leaf has its own unique composition and properties, different from those of the fruit essential oil.

Elemol is a terpenoid compound that is found in the leaves of certain plants. It has been found to have insecticidal and antitermite properties, i.e., it can be used to kill or repel insects and termites [32]. This makes elemol a potential candidate for use in pesticides and other insect control products. The essential oil of kumquat leaves contains 13.2–14.8% of elemol. However, the yield of essential oil from kumquat leaves is relatively low compared to the yield from other plant parts. Therefore, for kumquat leaves to become a valuable commercial source of elemol, efforts have to be made to increase the yield of leaf essential oil.

β -Eudesmol, the second major component of kumquat leaf essential oil, has been found to have anti-cancerous properties. Studies have shown that it can inhibit the formation and development of various types of cancer, including breast cancer and leukemia. However, more research is needed to fully understand the anti-cancerous properties of β -eudesmol and its potential in cancer prevention. In addition, essential oils are not recommended for internal use without proper dilution and professional guidance, as they can be toxic if taken in large doses or used improperly [33].

Guaiol is a hydroxyl sesquiterpene that is found in the essential oils of many medicinal plants, including kumquat leaves. It has a guaiane skeleton and is a key metabolite in the biogenesis of many guaiane natural products. Guaiol has a long history of use as a natural remedy. It is known for its antimicrobial, antifungal, antioxidant, antibacterial, antitumorous, anti-inflammatory, and insecticidal properties [34–37].

Spathulenol is a tricyclic sesquiterpenoid found in the essential oils of many plant species, including kumquat

leaves. It has an aromadendrane carbon skeleton and is known for its strong aroma. Although research on the biological activity of spathulenol is limited, it has been reported to exhibit antimicrobial, anti-inflammatory, antioxidant, and insecticidal properties [38–43].

Alismol is a sesquiterpenoid compound that is found in the essential oil of kumquat leaves. In our study, it was detected at levels between 6.5% and 7.9% in the essential oils of kumquat leaves. Alismol was first isolated from the rhizomes of *Alisma orientale* by Oshima *et al.* in 1983 [44]. Some studies have shown that sesquiterpenoids isolated from the rhizomes of *A. orientale* (a species of ginger) and various parts of the Lauraceae family exhibit enhanced biological activity [45–49].

Thus, we analyzed the essential oils obtained from the fruits and leaves of *C. fortunella* species collected in the Mersin region. The chemical composition of these essential oils has not been previously reported in literature. We determined the chemical content of the essential oils and identified a variety of compounds. A limited literature review showed that these chemicals have potential uses in the prevention of various diseases. However, more research is needed to fully understand the potential therapeutic benefits of these compounds and to confirm their effectiveness in preventing disease. Our results can be used not only to provide information about the nutritional value of kumquat when consumed as fresh fruit, but also to form a basis for evaluating various kumquat by-products. This may include the use of kumquat essential oil in food and beverage, cosmetics, and pharmaceuticals industries. Further research will provide a deeper understanding of the potential benefits of kumquat for human health and a more comprehensive use of kumquat resources.

Conclusion

In this study, we determined the chemical components of the essential oils obtained from *Citrus fortunella* fruits and leaves (Mersin region, Türkiye) by GC-MS. We found that the kumquat fruit essential oil was rich in limonene, while the leaf essential oil contained large amounts of elemol, β -eudesmol, α -guaiol, spathulenol, and alismol. Thanks to these beneficial volatile oil components, kumquat is as valuable as other citrus fruits in a variety of applications for medical, pharmaceutical, aromatic, and other purposes. However, since the safety of chemical preservatives in the food, cosmetic, and agricultural industries has been questioned, further studies are needed to evaluate kumquat fruit and leaf essential oils as alternatives for use in various industries.

Contribution

The authors were equally involved in writing this article and are equally responsible for its content. Fatümetüzzeşra Küçükbay designed the study and managed the data collection process. Çağrı Büyükkorkmaz, Gülmira Özek, and Temel Özek analyzed and interpreted

ted the data. All the authors prepared the article for publication and reviewed the draft of the article. All the authors read and approved the article.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest regarding this work.

Acknowledgments

The authors thank İnönü University, Turkey for financial support (BAPB – Grant No. TYL-2018-1108).

Критерии авторства

Ф. Кючукбай – концепция исследования, руководство сбором данных, написание статьи. Ч. Бююк-

коркмаз, Г. Озек и Т. Озек – анализ и интерпретация данных, написание статьи. Авторы в равной степени участвовали в написании статьи и несут ответственность за ее содержание. Все авторы одобрили финальную версию статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявили об отсутствии потенциальных конфликтов интересов в отношении исследования, авторства и / или публикации данной статьи.

Благодарности

Авторы выражают благодарность университету Инёню, Турция, за финансирование проекта (BAPB, грант № TYL-2018-1108).

References

1. Cho EC, Kim K. A comprehensive review of biochemical factors in herbs and their constituent compounds in experimental studies on alopecia. *Journal of Ethnopharmacology*. 2020;258:112907. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112907>
2. Motti R. Wild plants used as herbs and spices in Italy: An ethnobotanical review. *Plants*. 2021;10:563. <https://doi.org/10.3390/plants10030563>
3. Balkrishna A, Sharma N, Srivastava D, Kukreti A, Srivastava S, et al. Exploring the safety, efficacy, and bioactivity of herbal medicines: Bridging traditional wisdom and modern science in healthcare. *Future Integrative Medicine*. 2024;3(1):35–49. <https://doi.org/10.14218/FIM.2023.00086>
4. Raynor DK, Dickinson R, Knapp P, Long AF, Nicolson DJ. Buyer beware? Does the information provided with herbal products available over the counter enable safe use? *BMC Medicine*. 2011;9:94. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-94>
5. Vaou N, Stavropoulou E, Voidarou CC. Interactions between medical plant-derived bioactive compounds: Focus on antimicrobial combination effects. *Antibiotics*. 2022;11(8):1014. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11081014>
6. Perez SM. Profile Physical and phenolic-chemical of kumquat influenced by the environment analyzed in Fresh. *Journal of Ecological Engineering*. 2022;23(2):196–203. <https://doi.org/10.12911/22998993/144474>
7. Pawelczyk A, Żwawiak J, Zaprutko L. Kumquat fruits as an important source of food ingredients and utility compounds. *Food Reviews International*. 2021;39(2):875–895. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1928179>
8. Ziogas V, Ganos C, Graikou K, Cheilari A, Chinou I. Chemical analyses of volatiles from kumquat species grown in Greece—A study of antimicrobial activity. *Horticulturae*. 2024;10(2):131. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10020131>
9. Peng L-W, Sheu M-J, Lin L-Y, Wu C-T, Chiang H-M, et al. Effect of heat treatments on the essential oils of kumquat (*Fortunella margarita* Swingle). *Food Chemistry*. 2013;136(2):532. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.014>
10. Yıldız Turgut D, Topuz A. Bioactive compounds and biological activities of kumquat (*Fortunella* spp.). *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*. 2019;7(10):1581–1588. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i10.1581-1588.2628>
11. Li X, Meenu M, Xu B. Recent development in bioactive compounds and health benefits of kumquat fruits. *Food Reviews International*. 2022;39(7):4312–4332. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2023818>
12. Love K, Bowen R, Fleming K. Twelve fruits with potential value-added and culinary uses. Honolulu (HI): University of Hawaii. 2007. 58 p. <https://hdl.handle.net/10125/2340>
13. de Sousa DP, Damasceno ROS, Amorati R, Elshabrawy HA, de Castro RD, et al. Essential oils: Chemistry and pharmacological activities. *Biomolecules*. 2023;13(7):1144. <https://doi.org/10.3390/biom13071144>
14. Lin X, Cao S, Sun J, Lu D, Zhong B, et al. The chemical compositions, and antibacterial and antioxidant activities of four types of citrus essential oils. *Molecules*. 2021;26(11):3412. <https://doi.org/10.3390/molecules26113412>
15. Soni S, Parekh MY, Jacob JA, Lobo DE. Kumquat essential oil decreases proliferation and activates JNK signaling and apoptosis in HT-1080 fibrosarcoma cells. *Molecular and Cellular Biochemistry*. 2022;477:445–453. <https://doi.org/10.1007/s11010-021-04291-2>
16. Masyita A, Mustika Sari R, Dwi Astuti A, Yasir B, Rumata NR, et al. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry*. 2022;13:100217. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>

17. Tan S, Li M, Ding X, Fan S, Guo L, *et al.* Effects of *Fortunella margarita* fruit extract on metabolic disorders in high-fat diet-induced obese C57BL/6 Mice. PLOS ONE. 2015;9(4):e93510. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093510>
18. Zhang H, Xie Y, Liu C, Chen S, Hu S, *et al.* Comprehensive comparative analysis of volatile compounds in citrus fruits of different species. Food Chemistry. 2017;230:316–326. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.040>
19. Zeng Z, Mao Z, Liu Y, Chen M, Xu Z, *et al.* Functional substances and therapeutic potential of kumquat essential oil. Trends in Food Science and Technology. 2023;138:272–283. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.003>
20. Erasto P, Viljoen AM. Limonene – A review: biosynthetic, ecological and pharmacological relevance. Natural Product Communications. 2008;3(7):1193–1202. <https://doi.org/10.1177/1934578X0800300728>
21. Liu X, Liu B, Jiang D, Zhu S, Shen W, *et al.* The accumulation and composition of essential oil in kumquat peel. Scientia Horticulturae. 2019;252(27):121–129. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.042>
22. Ravichandran C, Badgujar PC, Gundev P, Upadhyay A. Review of toxicological assessment of d-limonene, a food and cosmetic additive. Food and Chemical Toxicology. 2018;12:668–680. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.052>
23. Lin H, Li Z, Sun Y, Zhang Y, Wang S, *et al.* D-Limonene: Promising and sustainable natural bioactive compound. Applied Sciences. 2024;14(11):4605. <https://doi.org/10.3390/app14114605>
24. Klimek-Szczykutowicz M, Szopa A, Ekiert H. *Citrus limon* (Lemon) Phenomenon—A review of the chemistry, pharmacological properties, applications in the modern pharmaceutical, food, and cosmetics industries, and biotechnological studies. Plants. 2020;9(1):119. <https://doi.org/10.3390/plants9010119>
25. Jongedijk E, Cankar K, Buchhaupt M, Schrader J, Bouwmeester H, *et al.* Biotechnological production of limonene in microorganisms. Applied Microbiology and Biotechnology. 2016;100(7):2927–2938. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7337-7>
26. Sun J. D-Limonene: Safety and clinical applications. Alternative medicine review: A journal of clinical therapeutic. 2007;12(3):259–264.
27. Kim YW, Kim MJ, Chung BY, Bang du Y, Lim SK, *et al.* Safety evaluation and risk assessment of d-Limonene. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B. 2013;16(1):17–38. <https://doi.org/10.1080/10937404.2013.769418>
28. Bacanlı M. Limonene and ursolic acid in the treatment of diabetes: Citrus phenolic limonene, triterpenoid ursolic acid, antioxidants and diabetes. In: Diabetes. Elsevier. Amsterdam 2020;275–283. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815776-3.00027-9>
29. Trumble JT. Caveat emptor: Safety considerations for natural products used in arthropod control. American Entomologist. 2002;48(1):7–13. <https://doi.org/10.1093/ae/48.1.7>
30. Roberto D, Micucci P, Sebastian T, Graciela F, Anesini C. Antioxidant activity of limonene on normal murine lymphocytes: Relation to H₂O₂ modulation and cell proliferation. Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology. 2010;106(1):38–44. <https://doi.org/10.1111/j.1742-7843.2009.00467.x>
31. Choi H-S. Characteristic odor components of kumquat (*Fortunella japonica* Swingle) peel oil. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005;53(5):1642–1647. <https://doi.org/10.1021/jf040324x>
32. Odimegwu JI, Odukoya O, Yadav RK, Chanotiya CS, Ogbonnia S, *et al.* A new source of elemol rich essential oil and existence of multicellular oil glands in leaves of the *Dioscorea* species. The scientific World Journal. 2013;2013:943598. <https://doi.org/10.1155/2013/943598>
33. Acharya B, Chaijaroenkul W, Na-Bangchang K. Therapeutic potential and pharmacological activities of β-eudesmol. Chemical Biology & Drug Design. 2021;97(4):984–996. <https://doi.org/10.1111/cbdd.13823>
34. Choudhary MI, Batool I, Atif M, Hussain S, Atta-ur-Rahman. Microbial transformation of (-)-guaiaol and antibacterial activity of its transformed products. Journal of Natural Products. 2007;70(5):849–852. <https://doi.org/10.1021/np068052a>
35. Mendes RF, Pinto NC, da Silva JM, da Silva JB, Hermisdorf RC, *et al.* The essential oil from the fruits of the Brazilian spice *Xylopiia sericea* A. St.-Hil. presents expressive in-vitro antibacterial and antioxidant activity. The Journal of Pharmacy and Pharmacology. 2017;69(3):341–348. <https://doi.org/10.1111/jphp.12698>
36. Liu T, Wang CJ, Xie HQ, Mu Q. Guaiaol—A naturally occurring insecticidal sesquiterpene. Natural Product Communications. 2013;8(10):1353–1354. <https://doi.org/10.1177/1934578X1300801001>
37. Yang X, Yang J, Gu X. (-)-Guaiaol triggers immunogenic cell death and inhibits tumor growth in non-small cell lung cancer. Molecular and Cellular Biochemistry. 2023;478(7):1611–1620. <https://doi.org/10.1007/s11010-022-04613-y>
38. Doorandishan M, Gholami M, Ebrahimi P, Jassbi AR. Spathulenol as the most abundant component of essential oil of *Moluccella aucheri* (Boiss.) Scheen. Natural Volatiles and Essential Oils. 2021;8(2):37–41. <https://doi.org/10.37929/nveo.817562>
39. Bendaoud H, Romdhane M, Souchard JP, Cazaux S, Bouajila J. Chemical composition and anticancer and antioxidant activities of *Schinus molle* L. and *Schinus terebinthifolius* Raddi berries essential oils. Journal of Food Science. 2010;75(6):466–472. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01711.x>
40. Ziaei A, Ramezani M, Wright L, Paetz C, Schneider B, *et al.* Identification of spathulenol in *Salvia mirzayanii* and the immunomodulatory effects. Phytotherapy Research. 2011;25(4):557–562. <https://doi.org/10.1002/ptr.3289>

41. do Nascimento KF, Moreira FMF, Alencar Santos J, Leite Kassuya CA, Croda JHR, et al. Antioxidant, anti-inflammatory, antiproliferative and antimycobacterial activities of the essential oil of *Psidium guineense* Sw. and spathulenol. Journal of Ethnopharmacology. 2018;210:351–358. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.08.030>
42. Valdivieso-Ugarte M, Gomez-Llorente C, Plaza-Díaz J, Gil Á. Antimicrobial, antioxidant, and immunomodulatory properties of essential oils: A systematic review. Nutrients. 2019;11(11):2786. <https://doi.org/10.3390/nu11112786>
43. Cantrell CL, Klun JA, Bryson CT, Kobaisy M, Duke SO. Isolation and identification of mosquito bite deterrent terpenoids from leaves of American (*Callicarpa americana*) and Japanese (*Callicarpa japonica*) beautyberry. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005;53(15):5948–5953. <https://doi.org/10.1021/jf0509308>
44. Oshima Y, Iwakawa T, Hikino H. Alismol and alismoxide, sesquiterpenoids of *Alisma* Rhizomes. Phytochemistry. 1983;22(1):183–185. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)80084-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)80084-9)
45. Kubo M, Matsuda H, Tomohiro N, Yoshikawa M. Studies on *Alismatis* rhizoma. I. Anti-allergic effects of methanol extract and six terpene components from *Alismatis* rhizoma (Dried rhizome of *Alisma orientale*). Biological and Pharmaceutical Bulletin. 1997;20(5):511–516. <https://doi.org/10.1248/bpb.20.511>
46. Makino B, Kobayashi M, Kimura K, Ishimatsu M, Sakakibara I, et al. Local variation in the content of angiotensin II and arginine vasopressin receptor antagonistic terpenoids in the rhizomes of *Alisma orientale*. Planta Medica. 2002;68(3):226–231. <https://doi.org/10.1055/s-2002-23129>
47. Matsuda H, Yamahara J, Kobayashi G, Fujimura H, Kurahashi K, et al. Effect of alismol on adrenergic mechanism in isolated rabbit ear artery. Japanese Journal of Pharmacology. 1988;46(4):331–335. <https://doi.org/10.1254/jjp.46.331>
48. Feng H, Jiang Y, Cao H, Shu Y, Yang X, et al. Chemical characteristics of the sesquiterpenes and diterpenes from Lauraceae family and their multifaceted health benefits: A review. Heliyon. 2022;8(12):e12013. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12013>
49. Li C, Yan W, Cui E, Changji Z. Anti-bacterial effect of phytoconstituents isolated from *Alimatis rhizoma*. Applied Biological Chemistry. 2021;64:9. <https://doi.org/10.1186/s13765-020-00583-1>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2556>
<https://elibrary.ru/OROAYO>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus* на качественные характеристики хлебобулочных изделий



А. В. Паймулина^{*ID}, О. В. Голуб^{ID}, Г. П. Чекрыга^{ID},
О. К. Мотовилов^{ID}, П. В. Семенов^{ID}

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Краснообск, Россия

Поступила в редакцию: 23.06.2024

Принята после рецензирования: 11.09.2024

Принята к публикации: 01.10.2024

*А. В. Паймулина: aaaminaaa@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-4981-717X>

О. В. Голуб: <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>

Г. П. Чекрыга: <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>

О. К. Мотовилов: <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>

П. В. Семенов: <https://orcid.org/0009-0000-5178-4587>

© А. В. Паймулина, О. В. Голуб, Г. П. Чекрыга, О. К. Мотовилов,
П. В. Семенов, 2025



Аннотация.

Одной из тенденций в коррекции ассортимента хлебобулочных изделий является повышение их пищевой ценности за счет использования растительных ингредиентов. Редька европейская (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) относится к корнеплодам, химический состав которых характеризуется присутствием ценных физиологически активных соединений, глюкозинолатов, фенольных соединений и др. Однако данный корнеплод пользуется меньшей популярностью у населения из-за специфического остро-горького вкуса. Цель данной работы – изучить возможности использования продуктов переработки корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* при изготовлении хлеба из пшеничной муки.

Объектами исследования являлись образцы теста и хлеба с добавлением редьки европейской, которую вносили в количестве 5, 10 и 15 % от массы муки в измельченном и гомогенном пюреобразном виде. Хлеб хранили при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха не более 85 % в пакетах из целлофана. Методы исследований – общепринятые, стандартные. Реологические характеристики теста и мякиша хлеба определяли на текстуроанализаторе «Структурометр СТ-2» (Россия). Органолептическую оценку хлеба осуществляли при использовании 5-балльной шкалы, разработанной НИИ хлебопечения. Для определения степени влияния факторов формы, количества вносимых корнеплодов, продолжительности хранения хлеба на изменение исследуемого результативного признака органолептических, физико-химических показателей проводили дисперсионный анализ экспериментальных данных с использованием программы SNEDECOR.

Установлено, что увеличение количества добавляемого растительного сырья приводило к снижению эластичности и растяжимости теста, повышению его упругости и кислотности; тесто с добавлением корнеплодов в виде гомогенной пюреобразной массы, по сравнению с измельченной, обладало лучшими реологическими характеристиками и повышенной кислотностью; использование корнеплодов привело к сокращению процесса брожения теста в среднем на 28 мин. Полученный хлеб характеризовался специфическими органолептическими свойствами, приемлемыми физико-химическими, реологическими и микробиологическими показателями. Использование редьки европейской повысило пищевую ценность хлеба за счет клетчатки в среднем в 1,7 раза. Определены сроки хранения хлеба с добавлением корнеплодов в процентном количестве от массы муки: до 10 % – не более 72 ч, до 15 % – не более 48 ч.

Хлебобулочные изделия с добавлением редьки европейской могут быть рекомендованы потребителям, заинтересованным в продуктах с оригинальными сенсорными характеристиками и повышенной пищевой ценностью. Полученные результаты расширили область знаний об использовании нетрадиционных растительных ингредиентов в технологиях хлебобулочных изделий.

Ключевые слова. Корнеплод, редька европейская, *Raphanus sativus* L. var. *sativus*, хлеб, тесто, качество, пищевая ценность, хранение

Для цитирования: Паймулина А. В., Голуб О. В., Чекрыга Г. П., Мотовилов О. К., Семенов П. В. Влияние корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus* на качественные характеристики хлебобулочных изделий. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 45–60. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2556>

Effect of *Raphanus sativus* L. var. *sativus* on Bakery Quality



Anastasia V. Paymulina*, Olga V. Golub, Galina P. Chekryga, Oleg K. Motovilov, Pavel V. Semenov

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

Received: 23.06.2024

Revised: 11.09.2024

Accepted: 01.10.2024

*Anastasia V. Paymulina: aaaminaaa@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-4981-717X>

Olga V. Golub: <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>

Galina P. Chekryga: <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>

Oleg K. Motovilov: <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>

Pavel V. Semenov: <https://orcid.org/0009-0000-5178-4587>

© A.V. Paymulina, O.V. Golub, G.P. Chekryga, O.K. Motovilov, P.V. Semenov, 2025



Abstract.

The nutritional value of bread can be increased by adding plant ingredients. The radish (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) is a root plant with valuable physiologically active compounds, e.g., glucosinolates, phenolics, etc. However, its bitter-spicy taste makes it commercially unpopular. The article describes a new technology of using byproducts of radish processing in wheat bread.

The research relied on standard methods and featured dough and bread samples with 5, 10, and 15% crushed and puree radish. The bread was stored in plastic bags at 20 ± 2 °C and a relative air humidity of $\leq 85\%$. The rheological characteristics of dough and breadcrumb were tested in texture analyzer Structurometer ST-2 (Russia). The sensory assessment involved a 5-point scale developed by the Research Institute of Bread Baking. A dispersion analysis (SNEDECOR) revealed the effect of application form, share of radish, and storage time on the sensory and physicochemical indicators of the finished product.

Radish reduced the elasticity and extensibility of dough but increased its resilience and acidity. The dough samples with radish puree had better a rheological profile and higher acidity than the samples with crushed radish. In addition, radish reduced the dough fermentation time by 28 min. The resulting bread demonstrated specific sensory properties but acceptable physicochemical, rheological, and microbiological parameters. Radish fiber increased the nutritional value of the finished product by 1.7 times. The shelf life was 72 h for the bread samples with $\leq 10\%$ radish and 48 h for the samples with $\leq 15\%$ radish. The new bread with *R. sativus* L. var. *sativus* might interest gourmet customers that look for new products with non-trivial sensory properties and enhanced nutritional value. The research expanded the knowledge about non-traditional plant ingredients in functional bakery.

Keywords. Root plant, radish, *Raphanus sativus* L. var. *sativus*, bread, dough, quality, nutritional value, storage

For citation: Paymulina AV, Golub OV, Chekryga GP, Motovilov OK, Semenov PV. Effect of *Raphanus sativus* L. var. *sativus* on Bakery Quality. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;55(1):45–60. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2556>

Введение

В ежедневном рационе многих людей хлеб является одним из основных продуктов питания. Большинство хлебобулочных изделий изготавливаются из рафинированной муки, как следствие, они обладают не только положительными свойствами, такими как мягкая консистенция, светлый мякиш, хрустящая корочка, высокая усвояемость, но и отрицательными – низким содержанием биологически активных веществ (витамины, пищевые волокна, минеральные элементы и пр.), утраченных на этапе помола зерна пшеницы [1, 2]. В последние годы изменились предпоч-

тения и требования к хлебу: современный потребитель рассматривает его как продукт здорового питания [3, 4]. По вышеуказанным причинам одной из тенденций в коррекции ассортимента хлебобулочных изделий является повышение их пищевой ценности, а значит удовлетворение новых потребительских запросов, в том числе за счет использования ингредиентов различного происхождения (животного, растительного, микробиологического и пр.) в натуральном, обработанном или переработанном виде [5–8]. При изготовлении хлеба используются различные растительные компоненты [9]: нехлебные злаки и псевдозерновые [10–12];

бобовые [13–15]; масличные культуры [16–18]; фрукты, овощи, травянистые растения [19–26] и пр.

Редька европейская, или *Raphanus sativus* L. var. *sativus*, относится к корнеплодам с химическим составом, многие нутриенты которого представляют собой ценные физиологически активные соединения (пищевые волокна, тиамин, рибофлавин, аскорбиновая кислота, кальций, магний, марганец), глюкозинолаты (сульфорафен, индол-3-карбинол), фенольные соединения (катехин-(7,8-бс)-4а-(3,4-дигидроксифенил)-дигидро-2-(3Н)-пиранон, дельфинидин) и др. [27–32]. Из редьки, или с ее использованием, изготавливают консервы, соусы, мясную продукцию, мармелад, конфеты, чипсы, мороженое, водку и т. д. [33–35]. В настоящее время европейские подвиды редьки пользуются меньшей популярностью среди населения из-за специфического остро-горького вкуса. В отличие от них, китайские и японские подвиды, не обладающие данной органолептической характеристикой, имеют слабоострый вкус с легким оттенком горечи или вовсе без нее. Возможно, поэтому на территории нашей страны потребителям предлагается узкий ассортимент продукции с использованием или на основе редьки европейской. На 29.08.2023 задекларировано всего 3 вида салата (ЕАЭС № RU Д-RU.PA02.B.43762/22, ЕАЭС № RU Д-RU.PA07.B.77621/22, ЕАЭС № RU Д-RU.PA07.B.77706/22) и продукция сублимационной сушки (ЕАЭС № RU Д-RU.AE37.B.01662/20), согласно Единому реестру сертификатов соответствия и деклараций о соответствии.

Многие ингредиенты, используемые для производства хлеба, улучшают и облегчают различные технологические процессы, а также продлевают сроки хранения [36, 37]. Ранее исследования по применению редьки европейской в качестве рецептурного компонента при изготовлении хлебобулочных изделий не проводились. Цель работы – изучить возможности использования продуктов переработки корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* при изготовлении хлеба из пшеничной муки. Задачи: исследовать влияние различных форм и количества добавляемого растительного сырья на органолептические, физико-химические (в том числе

реологические) характеристики теста и хлеба, обозначить сроки хранения готовых хлебобулочных изделий.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования на разных этапах работы являлись:

– образец 1 (контроль) – тесто и подовый хлеб из пшеничной муки первого сорта, полученные опарным способом, в соответствии с рецептурой и технологической инструкцией для белого хлеба из муки высшего, первого и второго сортов [38];

– образцы 2–7 (опытные) – тесто и подовый хлеб из пшеничной муки первого сорта, полученные опарным способом, с внесением корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus*.

Рецептуры контрольного и опытных образцов теста и хлеба представлены в таблице 1. Корнеплоды *R. sativus* L. var. *sativus* в измельченном виде (соломка сечением 4×3 мм) получали механическим способом с использованием протирочно-резательной машины МПР-350М-01 (Республика Беларусь). Гомогенную пюреобразную массу из корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* получали путем обработки измельченных корнеплодов в механоакустическом гомогенизаторе (Россия) при гидромодуле 1:1, мощности 100–500 Вт/кг, температуре 70–75 °С в течение 20–30 мин и стерилизации при 95–97 °С в течение 20–60 с.

Замес теста осуществляли машинным способом, используя кухонный комбайн Kenwood Chef classic KM400 (Китай), в течение 15 мин при 120–170 об/мин и температуре 30 °С. Технологические этапы брожения, расстойки и выпечки тестовых заготовок проводили с использованием пароконвектомата ЕКФ 611 СТС (Италия) согласно режимам, представленным в таблице 2 [39]. Деление и формование тестовых заготовок осуществляли ручным способом. Корнеплоды *R. sativus* L. var. *sativus* вносили на этапе замешивания теста.

Хранение контрольного и опытных образцов хлеба осуществляли при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха не более 85 % в пакетах из целлофана марки П.

Таблица 1. Рецептуры контрольного и опытных образцов теста и хлеба из пшеничной муки первого сорта, кг

Table 1. Formulations for control and experimental samples of dough and bread from first-grade wheat flour, kg

Сырье	Образец						
	1 (контроль)	2	3	4	5	6	7
Мука пшеничная первого сорта	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Корнеплоды <i>Raphanus sativus</i> L. var. <i>sativus</i> в измельченном виде	–	5,0	10,0	15,0	–	–	–
Корнеплоды <i>Raphanus sativus</i> L. var. <i>sativus</i> в гомогенном пюреобразном виде	–	–	–	–	5,0	10,0	15,0
Дрожжи прессованные	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Соль пищевая	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Вода питьевая	по расчету (влажность теста – $36,3 \pm 1,0$ %)						

Таблица 2. Режимы работы пароконвектомата EKF 611 CTC на технологических этапах брожения, расстойки и выпечки тестовых заготовок

Table 2. Operating modes for EKF 611 CTC combination steamer at different stages of fermentation, proofing, and baking

Параметры технологического этапа	Характеристика параметров
Брожение	
Продолжительность, мин	120
Температура, °C	30 ± 2
Пар, %	10
Конвекция (импульс-режим), %	30
Обминка через 60 мин	2 раза по 5 мин
Расстойка	
Продолжительность, мин	90
Температура, °C	37 ± 2
Пар, %	50
Конвекция (импульс-режим), %	50
Выпечка	
Продолжительность, мин	25
Температура, °C	180 ± 2
Конвекция (импульс-режим), %	100

Оценку качественных характеристик контрольного и опытных образцов теста и хлеба проводили по совокупности показателей.

Кислотность теста рассчитывали в соответствии ГОСТ 5670-96. Реологические характеристики (общую, пластическую и упругую деформацию) теста определяли на текстурометре «Структурометр СТ-2» (Россия) с использованием индентора «Цилиндр» диаметром 36 мм. Измерение проводили согласно следующему режиму работы: скорость движения индентора вниз до контакта с пробой – 0,5 мм/с при усилении касания 7 г, внедрение индентора в пробу – 0,5 мм/с до усилия 500 г, извлечение индентора из пробы – 0,5 мм/с до конечного усилия 7 г, возврат индентора в начальную точку – 1 мм/с.

Органолептическую оценку хлеба осуществляли при использовании 5-балльной шкалы, разработанной НИИ хлебопечения, с учетом коэффициентов весомости (для внешнего вида $K = 0,3$; состояния мякиша $K = 0,2$; запаха $K = 0,1$; вкуса $K = 0,4$), согласно которой устанавливали уровень качества готовых изделий (отличное – 4,7–5,0 балла; хорошее – 3,8–4,6 балла; удовлетворительное – 3,3–3,7 балла; неудовлетворительное – ниже 3,3 балла). В мякише хлеба определяли влажность, кислотность, пористость в соответствии с ГОСТ 21094-75, ГОСТ 5670-96, ГОСТ 5669-96. Удельный объем хлеба определяли как отношение объема изделия к его массе, упек хлеба – как разность между массой тестовой заготовки перед выпечкой и массой готового изделия. Крошковатость мякиша хлеба определяли методом Ройтера, набухаемость – по количеству воды, поглощаемой мякишем хлеба за 5 мин (мл на 1 г сухого вещества) [40].

Реологические характеристики (общая, пластическая и упругая деформация, эластичность) мякиша хлеба (кусочка высотой 25 мм) определяли на «Структурометр СТ-2» (Россия) с использованием индентора «Полусфера» согласно следующему режиму работы: скорость движения индентора вниз до контакта с пробой – 0,5 мм/с при усилении касания 7 г, сжатие пробы – 0,5 мм/с до усилия 500 г, реверсивное движение индентора вверх – 0,5 мм/с до конечного усилия 7 г, возврат индентора в начальную точку – 1 мм/с. Содержание сырой клетчатки в хлебе определяли в соответствии с ГОСТ 31675-2012. Содержание мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, условно патогенных бактерий (*Staphylococcus aureus*, *Proteus*, группы кишечной палочки (колиформов)), патогенных микроорганизмов, в том числе *Salmonella*, а также плесневых грибов определяли по ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 31746-2012, ГОСТ 28560-90, ГОСТ 31747-2012, ГОСТ 31659-2012, ГОСТ 10444.12-2013.

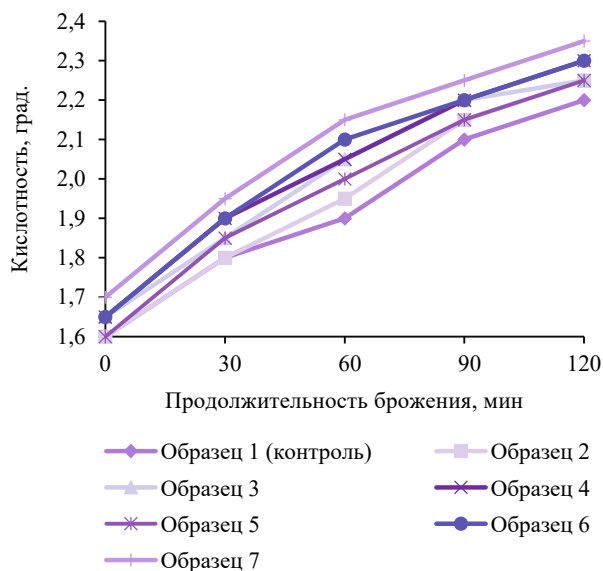
Исследование проводили в трех-пятикратной повторности с доверительной вероятностью 0,95 %. Для определения степени влияния факторов (А – форма внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* (измельченные или пюреобразные); В – количество вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*; С – продолжительность процесса брожения; D – продолжительность хранения хлеба) на изменение исследуемого результативного признака органолептических, физико-химических показателей проводили дисперсионный анализ экспериментальных данных с использованием программы SNEDECOR.

Результаты и их обсуждение

Исследование влияния корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus*, добавленных в измельченном виде и виде гомогенной пюреобразной массы, на процесс накопления кислот в ходе брожения теста представлено на рисунке 1.

Внесение растительного сырья в рецептуру хлебобулочных изделий способствовало незначительному увеличению начальной титруемой кислотности в опытных образцах, по сравнению с контрольным. При использовании растительного ингредиента в количестве 15 % от массы муки, независимо от формы его внесения, кислотность увеличивалась максимально на 0,075 град. Наибольшая кислотность была зафиксирована в образцах теста с добавлением гомогенной пюреобразной массой корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* (образцы 5–7) по сравнению с образцами, содержащими измельченные растительные ингредиенты (образцы 2–4). Эти различия, вероятно, обусловлены большей доступностью нутриентов корнеплодов в виде гомогенной пюреобразной массы для дрожжевых клеток и другой кислотообразующей микрофлоры. Интенсификация жизнедеятельности микрофлоры ускорила процесс брожения, сопровож-

дающийся образованием молочной, уксусной, пропионовой и других летучих органических кислот, которые, в свою очередь, обуславливают формирование оригинальных органолептических характеристик хлебобулочных изделий (вкус, запах, состояние мякиша). Кислотность контрольного образца теста



Примечание: образец 1 – контроль; образцы 2, 3 и 4 – с внесением корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus* в измельченном виде в количестве 5, 10 и 15 %; образцы 5, 6 и 7 – в гомогенном пюреобразном виде в количестве 5, 10 и 15 %

Note: Sample 1 – control; Sample 2 – 5% crushed radish; Sample 3 – 10% crushed radish; Sample 4 – 15% crushed radish; Samples 5 – 5% radish puree; Sample 6 – 10% radish puree; Sample 7 – 15% radish puree.

Рисунок 1. Динамика накопления кислот в процессе брожения контрольного и опытных образцов теста

Figure 1. Acid accumulation during fermentation in control vs. experimental dough samples

по окончании процесса брожения (120 мин) составляла 2,2 град. В образцах теста с добавлением растительных ингредиентов кислотность контрольного образца достигалась быстрее: для образцов 2 и 5 – через 105 мин; 3, 4 и 6 – через 90 мин; 7 – через 75 мин.

Оценку структурно-механических свойств (общей, пластической и упругой деформации) контрольного и опытных образцов теста проводили до и после обминки по окончании процесса брожения (табл. 3).

Кривые релаксации механических напряжений контрольного и опытных образцов теста до обминки имели вид скачкообразной экспоненты, при этом резких перепадов усилия индентора при внедрении в пробу не наблюдалось, что доказывает равномерное распределение пузырьков диоксида углерода в тесте. Измерение реологических характеристик теста до обминки позволяет оценить равномерность формируемых пор в матрице, при этом невозможно определить зависимость значений пластической и упругой деформации от формы и количества добавляемого сырья.

После обминки кривые релаксации механических напряжений контрольного и опытных образцов теста носили экспоненциальный характер. Полученные реологические характеристики показали, что опытные образцы теста, независимо от формы внесения корнеплодов, имели меньшую пластичность, по сравнению с контрольным образцом, с преобладанием упругих свойств. Эти результаты могут быть связаны с взаимодействием клетчатки *R. sativus* L. var. *sativus* и белков пшеничной муки. Снижение пластической деформации имело отрицательное технологическое значение, т. к. при этом снижалась эластичность теста, что впоследствии повлияло на уменьшение удельного объема выпеченных изделий и формирование уплотненного мякиша. Внесение в рецептуру теста растительного сырья снижало значение его общей

Таблица 3. Реологические характеристики контрольного и опытных образцов теста, мм

Table 3. Rheological profile of control and experimental dough samples, mm

Деформация	Образец 1 (контроль)	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7
до обминки							
Общая	62,736	37,206	27,815	17,636	25,686	16,856	14,686
Пластическая	61,512	34,717	26,076	15,140	23,213	14,649	12,549
Упругая	1,224	2,489	1,739	2,496	2,473	2,207	2,137
после обминки							
Общая	20,499	16,271	12,097	11,388	14,991	14,500	14,493
Пластическая	18,439	14,610	10,116	9,360	13,158	12,340	12,199
Упругая	2,060	1,661	1,981	2,028	1,833	2,160	2,294

Примечание: образец 1 – контроль; образцы 2, 3 и 4 – с внесением корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* в измельченном виде в количестве 5, 10 и 15 %; образцы 5, 6 и 7 – в гомогенном пюреобразном виде в количестве 5, 10 и 15 %.

Note: Sample 1 – control; Sample 2 – 5% crushed radish; Sample 3 – 10% crushed radish; Sample 4 – 15% crushed radish; Samples 5 – 5% radish puree; Sample 6 – 10% radish puree; Sample 7 – 15% radish puree.

и пластической деформации: в измельченном виде – в среднем на 35,4 и 38,3 %; в виде гомогенной пюреобразной массы – в среднем на 28,5 и 31,9 % соответственно.

При анализе значимости факторов, влияющих на кислотность теста (табл. 4), установлено, что продолжительность процесса брожения оказывала наибольшее влияние (90,55 %), в отличие от формы и количества вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* – 4,28 и 3,35 % соответственно. Влияние нескольких факторов одновременно было минимальным.

При анализе значимости факторов, влияющих на реологические свойства теста после обминки (табл. 3), установлено, что наибольшее влияние оказывало количество внесенного растительного сырья: степень влияния на общую (35,77 %), пластическую (42,55 %) и упругую деформацию (66,79 %) по сравнению с их формой – 16,97, 12,83 и 30,15 % соответственно. Взаимодействие факторов, рассматриваемых в исследовании, было значительным только для общей и пластической деформации теста, их степень влияния 47,20 и 44,59 % соответственно.

При оценке органолептических показателей контрольного и опытных образцов хлеба выявлено, что внесение корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* оказывало влияние на их внешний вид, состояние мякиша и вкус (рис. 2, 3).

Результаты органолептической оценки контрольного и опытных образцов хлеба с корнеплодами через 3 ч после выпечки позволили проранжировать их по уровням качества: отличное (образцы 1, 2, 5 и 6 – суммарная оценка 4,94, 4,78, 5,00 и 4,84 балла соответственно) и хорошее (образцы 3, 4 и 7 – 4,64, 4,04 и 4,46 балла соответственно).

Контрольный образец хлеба (образец 1) через 3 ч после выпечки имел следующие характеристики: гладкая, ровная, слегка выпуклая поверхность корки равномерного золотисто-коричневого цвета без трещин и подрывов; равномерный белый мякиш с хорошей эластичностью, мелкой, равномерной пористостью с тонкими стенками, нелипкий, без комочков и следов непромеса; запах и вкус – свойственные хлебобулочным изделиям, приятные, без посторонних примесей. Через 24 ч хранения статистически значимых изменений органолептических показателей качества контрольного образца хлеба не было зафиксировано. Через 48 ч хранения наблюдалось снижение эластичности мякиша и увеличение его крошливости. Уровень качества образца снизился с отличного до хорошего. Через 72 ч хранения происходила интенсификация процессов черствения, что сопровождалось снижением объема изделия и уплотнением мякиша. Через 108 ч хранения отмечались уменьшение объема изделий и жесткий, крошливый мякиш, связанные

Таблица 4. Значимость факторов, влияющих на кислотность и реологические свойства теста, %

Table 4. Factors that affect acidity and rheological profile of dough, %

Фактор	Кислотность		Общая деформация		Пластическая деформация		Упругая деформация	
	Влияние фактора	НСР _{0,5} ($p < 0,05$)	Влияние фактора	НСР _{0,5} ($p < 0,05$)	Влияние фактора	НСР _{0,5} ($p < 0,05$)	Влияние фактора	НСР _{0,5} ($p < 0,05$)
A	4,28	1,27	16,97	12,20	12,83	8,50	30,15	9,70
B	3,35	1,56	35,77	18,10	42,55	12,50	66,79	14,30
C	90,55	2,02	–	–	–	–	–	–
AB	0,40	2,21	47,50	0	44,59	0	0	0
AC	0,76	2,85	–	–	–	–	–	–
BC	0,34	3,49	–	–	–	–	–	–

Примечание: А – форма внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* (измельченные или пюреобразные); В – количество вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*; С – продолжительность процесса брожения; НСР – наименьшая существенная разница.

Note: A – form of application (crushed / puree); B – amount; C – fermentation time; LSD – the least significant difference.

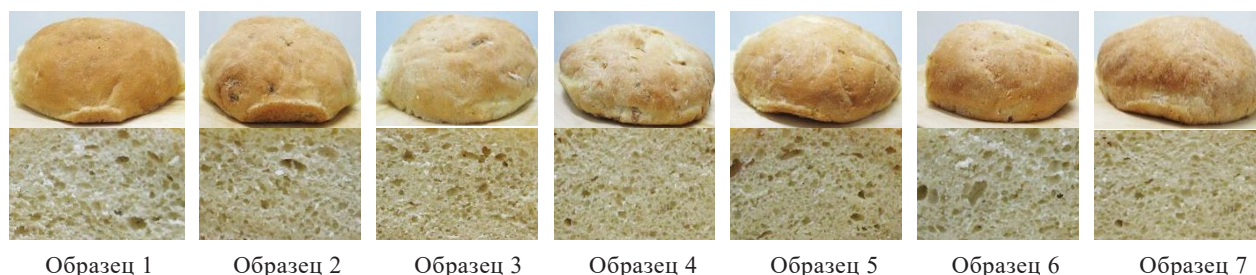


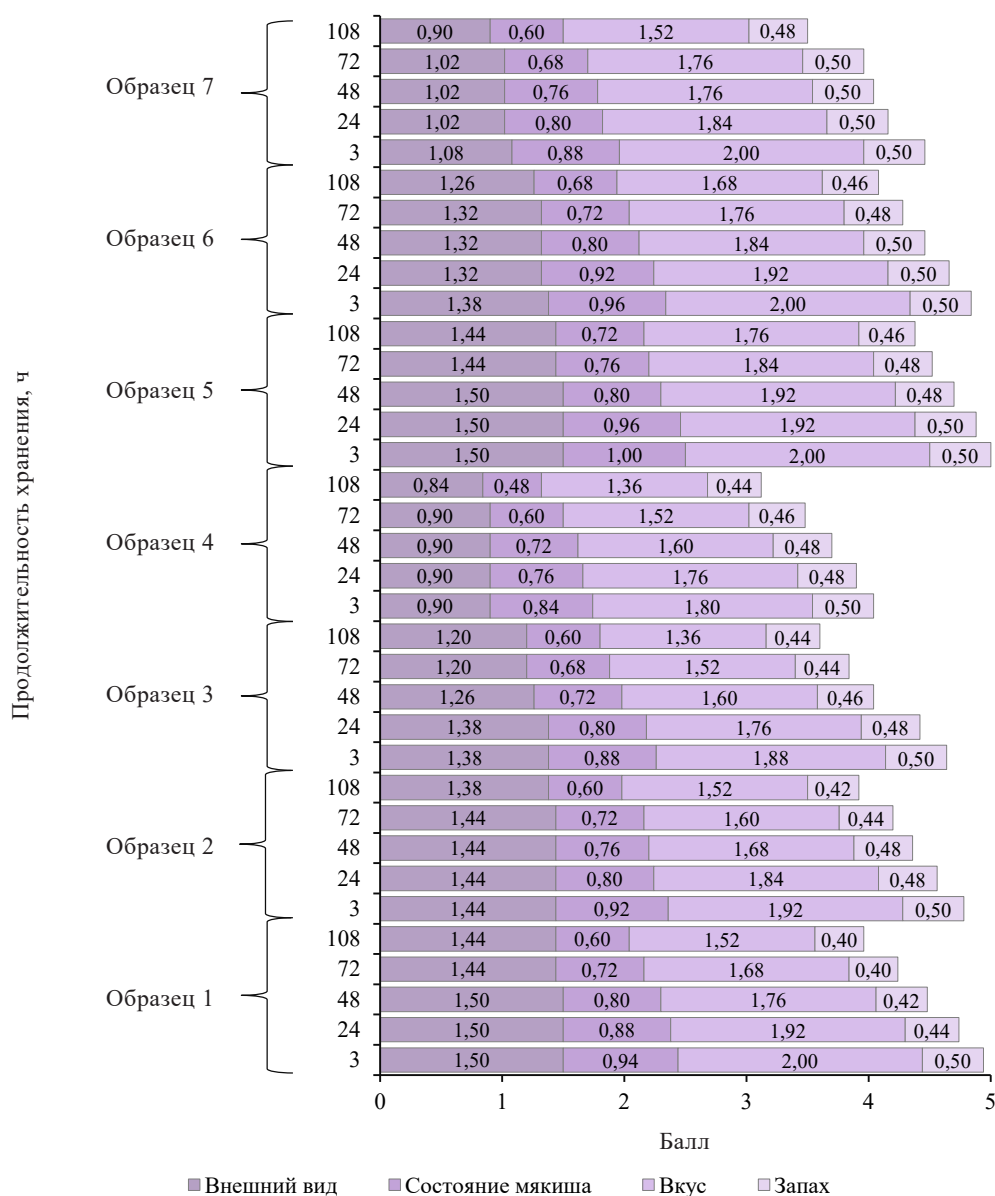
Рисунок 2. Внешний вид поверхности и мякиша контрольного и опытных образцов хлеба через 3 ч после выпечки

Figure 2. Surface and crumb of control vs. experimental bread samples, 3 h after baking

с процессами черствения. Также наблюдалось ухудшение вкуса и запаха хлеба вследствие потери летучих вкусоароматических веществ. Уровень качества контрольного образца через 108 ч хранения оставался хорошим (3,96 баллов), снижение суммарной оценки составило 0,98 балла.

Образцы с добавлением *R. sativus* L. var. *sativus* в измельченном виде (образцы 2–4) через 3 ч после выпечки представляли собой изделия округлой формы без крупных трещин и подрывов, с гладкой, но неод-

нородной поверхностью корки золотисто-коричневого цвета, с вкраплениями измельченных кусочков корнеплодов. Увеличение количества добавленного растительного сырья привело к снижению объема выпеченных изделий. Состояние мякиша варьировалось: у образца 2 практически не отличалось от контрольного и характеризовалось хорошей эластичностью, равномерным распределением пор округлой формы с тонкими стенками; у образца 3 наблюдались средняя эластичность, некрупные поры округлой формы



Примечание: образец 1 – контроль; образцы 2, 3 и 4 – с внесением корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* в измельченном виде в количестве 5, 10 и 15 %; образцы 5, 6 и 7 – в гомогенном пюреобразном виде в количестве 5, 10 и 15 %.

Note: Sample 1 – control; Sample 2 – 5% crushed radish; Sample 3 – 10% crushed radish; Sample 4 – 15% crushed radish; Samples 5 – 5% radish puree; Sample 6 – 10% radish puree; Sample 7 – 15% radish puree.

Рисунок 3. Результаты органолептической оценки контрольного и опытных образцов хлеба, балл (n = 5)

Figure 3. Sensory assessment of control vs. experimental bread samples, points (n = 5)

с тонкими стенками, распределенные равномерно; у образца 4 – средняя эластичность и неравномерная пористость с толстыми стенками. Во вкусе и аромате всех образцов хлеба присутствовали легкие ноты редьки, а при разжевывании ощущался слабый хруст корнеплодов. Через 24 ч хранения фиксировалось снижение эластичности мякиша и потеря интенсивности вкуса и запаха. У образца 2 уровень качества снизился с отличного до хорошего, у образцов 3 и 4 он остался без изменений. Через 48 ч хранения наблюдалось увеличение крошливости мякиша, ухудшение вкуса и запаха. У образца 3 было зафиксировано снижение объема, у образца 4 уровень качества снизился с хорошего до удовлетворительного, у образца 2 – без изменений. Через 72 ч хранения процессы черствения интенсифицировались. Через 108 ч хранения все изделия потеряли свой объем, мякиш стал жестким, неэластичным и крошlivым, вкус и запах ослабили, сохранялись лишь легкие ноты редьки. Уровень качества через 108 ч хранения у образцов 2–4: образец 2 – хорошее (3,92 балла), образец 3 – удовлетворительное (3,6 балла), образец 4 – неудовлетворительное (3,12 балла). Снижение суммарной оценки составило 0,86, 1,04 и 0,92 балла соответственно.

Образцы с добавлением корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* в виде гомогенной пюреобразной массы (образцы 5–7) через 3 ч после выпечки имели округлую форму, с гладкой, ровной поверхностью корки золотисто-коричневого цвета без трещин и подрывов. Образцы 5 и 6 отличались увеличенным объемом, тогда как у образца 7 наблюдалась слабая выпуклость корки. Состояние мякиша также варьировалось: у образцов 5 и 6 – белый, равномерный, с хорошей эластичностью и средней тонкостенной пористостью, у образца 7 – плотный, с мелкими округлыми порами, преимущественно с толстыми стенками. Во вкусе и аромате хлеба всех образцов с пюреобразными корнеплодами отмечались приятные ноты редьки, интенсивность которых была выше, чем у образцов с измельченными корнеплодами (2–4). Через 24 ч хранения органолептические показатели качества образцов не претерпели статистически значимых изменений. Через 48 ч хранения в образце 5 отмечалась крошливость мякиша, а в образцах 6 и 7 – некоторое уплотнение. Вкус и аромат всех образцов стали менее выраженными. У образца 6 уровень качества снизился с отличного до хорошего, у образцов 5 и 7 – остался без изменений. Через 72 ч хранения процессы черствения усилились. У образца 5 уровень качества снизился с отличного до хорошего, у образцов 6 и 7 изменений уровня качества не наблюдалось. К 108 ч хранения все образцы потеряли объем, мякиш стал жестким, неэластичным и крошlivым, а вкус и запах ослабили, сохранялись лишь слабые ноты редьки. При этом вкусоароматические показатели образцов 5–7 оказались выше, чем у образ-

цов с измельченными корнеплодами (2–4). Уровень качества через 108 ч: образец 5 – хорошее (4,38 балла), образец 6 – хорошее (4,08 балла), образец 7 – удовлетворительное (3,50 балла). Снижение суммарной оценки составило 0,62, 0,76 и 0,96 балла соответственно.

Результаты физико-химической оценки контрольного и опытных образцов хлеба представлены в таблице 5. Через 3 ч после выпечки показатели влажности и кислотности мякиша опытных образцов хлеба незначительно возрастали, по сравнению с контрольным, но оставались в пределах, регламентируемых ГОСТ Р 58233-2018. На этот рост, вероятно, повлияли особенности химического состава вводимого растительного ингредиента. Максимальное увеличение влажности и кислотности мякиша опытных образцов хлеба отмечено при использовании корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* в количестве 15 % от массы муки, по сравнению с контрольным: в измельченном виде – на 0,7 и 3,7 % соответственно (образец 4), в гомогенном пюреобразном виде – на 2,3 и 6,1 % (образец 7). С увеличением продолжительности хранения во всех образцах хлеба происходило снижение влажности мякиша в среднем на 12,8 % через 108 ч, связанное с процессами усыхания. Кислотность мякиша незначительно возрастала, изменения статистически незначимы. При этом значения влажности и кислотности мякиша всех образцов хлеба на конец срока хранения оставались в пределах, регламентируемых нормативным документом.

Пористость мякиша и удельный объем опытных образцов хлеба ухудшались с увеличением количества вносимого растительного сырья, при этом значения пористости мякиша опытных образцов хлеба соответствовали требованиям действующей нормативной документации. Данные результаты могут быть связаны со снижением газоудерживающей способности пшеничной муки при взаимодействии сульфгидрильных групп белков с нерастворимыми пищевыми волокнами корнеплодов. Это приводит к образованию неустойчивого белково-углеводного каркаса хлебной матрицы, а также к увеличению доли воды в свободном состоянии при одновременном снижении осмотически, физико-механически и адсорбционно связанной воды. Через 3 ч после выпечки наибольшее уменьшение пористости и удельного объема мякиша опытных образцов хлеба отмечено при использовании *R. sativus* L. var. *sativus* в количестве 15 % от массы муки: у образца 4 (с измельченными корнеплодами) – на 4,6 и 16,1 %, у образца 7 (с пюреобразными корнеплодами) – на 8,6 и 12,9 %. Пористость мякиша хлеба постепенно снижалась во всех образцах в течение хранения, что связано с процессами черствения и ретроградации крахмала. Через 108 ч снижение пористости составило в среднем 6,1 %. При этом образцы хлеба с добавлением корнеплодов в количестве 15 % от массы муки не соответствовали требованиям ГОСТ Р 58233-2018 по показателю пористости

Таблица 5. Физико-химические показатели контрольного и опытных образцов хлеба

Table 5. Physicochemical profile of control vs. experimental bread samples

Показатель	Продолжительность хранения, ч				
	3	24	48	72	108
Образец 1 (упек – 10,8 ± 0,4 %)					
Влажность мякиша, %	43,8 ± 0,2	43,2 ± 0,3	41,5 ± 0,2	39,9 ± 0,2	37,7 ± 0,2
Кислотность мякиша, %	1,62 ± 0,05	1,63 ± 0,05	1,64 ± 0,05	1,66 ± 0,05	1,70 ± 0,07
Пористость мякиша, %	74,2 ± 0,4	73,0 ± 0,4	72,2 ± 0,3	71,4 ± 0,4	69,9 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	310 ± 12	302 ± 10	290 ± 10	285 ± 8	278 ± 10
Крошковатость, %	3,2 ± 0,1	3,6 ± 0,1	4,2 ± 0,1	4,8 ± 0,2	5,6 ± 0,2
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,8 ± 0,3	6,8 ± 0,3	6,6 ± 0,2	6,4 ± 0,2	6,3 ± 0,2
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01
Образец 2 (упек – 9,6 ± 0,3 %)					
Влажность мякиша, %	43,9 ± 0,2	43,4 ± 0,3	41,9 ± 0,2	40,6 ± 0,2	38,1 ± 0,2
Кислотность мякиша, %	1,63 ± 0,06	1,64 ± 0,05	1,65 ± 0,05	1,68 ± 0,06	1,75 ± 0,07
Пористость мякиша, %	73,7 ± 0,3	72,6 ± 0,3	71,5 ± 0,3	70,5 ± 0,3	69,2 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	295 ± 12	288 ± 12	280 ± 11	274 ± 10	270 ± 10
Крошковатость, %	3,3 ± 0,1	3,7 ± 0,1	4,4 ± 0,1	5,0 ± 0,2	5,7 ± 0,2
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,6 ± 0,3	6,6 ± 0,2	6,5 ± 0,2	6,3 ± 0,2	6,2 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01
Образец 3 (упек – 9,3 ± 0,3 %)					
Влажность мякиша, %	44,1 ± 0,2	43,5 ± 0,3	42,1 ± 0,2	41,2 ± 0,3	38,6 ± 0,2
Кислотность мякиша, %	1,64 ± 0,06	1,65 ± 0,06	1,71 ± 0,06	1,72 ± 0,06	1,80 ± 0,07
Пористость мякиша, %	70,8 ± 0,5	69,8 ± 0,4	68,4 ± 0,4	67,1 ± 0,4	66,0 ± 0,4
Удельный объем, см ³ /100 г	280 ± 10	275 ± 10	268 ± 10	260 ± 8	254 ± 7
Крошковатость, %	3,3 ± 0,1	3,6 ± 0,1	4,4 ± 0,1	4,9 ± 0,1	5,7 ± 0,2
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,3 ± 0,2	6,2 ± 0,1	6,1 ± 0,1	5,9 ± 0,1	5,9 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01
Образец 4 (упек – 8,7 ± 0,3 %)					
Влажность мякиша, %	44,3 ± 0,2	43,8 ± 0,2	42,6 ± 0,2	42,0 ± 0,2	39,1 ± 0,2
Кислотность мякиша, %	1,68 ± 0,07	1,70 ± 0,07	1,72 ± 0,07	1,82 ± 0,07	1,91 ± 0,07
Пористость мякиша, %	66,4 ± 0,4	65,9 ± 0,3	65,2 ± 0,3	64,7 ± 0,3	63,6 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	260 ± 10	254 ± 11	248 ± 10	243 ± 9	240 ± 8
Крошковатость, %	3,5 ± 0,2	3,8 ± 0,2	4,6 ± 0,2	5,2 ± 0,2	6,0 ± 0,2
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	5,9 ± 0,2	5,8 ± 0,2	5,6 ± 0,1	5,5 ± 0,1	5,4 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,45 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,45 ± 0,02
Образец 5 (упек – 10,4 ± 0,4 %)					
Влажность мякиша, %	44,0 ± 0,1	43,4 ± 0,2	42,1 ± 0,2	40,7 ± 0,2	38,3 ± 0,1
Кислотность мякиша, %	1,64 ± 0,05	1,65 ± 0,05	1,70 ± 0,06	1,73 ± 0,06	1,80 ± 0,07
Пористость мякиша, %	74,4 ± 0,4	73,2 ± 0,4	71,8 ± 0,3	71,9 ± 0,3	70,0 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	315 ± 14	307 ± 11	300 ± 10	292 ± 8	285 ± 8
Крошковатость, %	3,2 ± 0,1	3,3 ± 0,1	3,8 ± 0,1	4,5 ± 0,1	5,3 ± 0,1
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,8 ± 0,3	6,8 ± 0,2	6,8 ± 0,2	6,6 ± 0,1	6,5 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01
Образец 6 (упек – 9,7 ± 0,4 %)					
Влажность мякиша, %	44,5 ± 0,1	43,6 ± 0,2	42,6 ± 0,2	41,4 ± 0,2	38,7 ± 0,1
Кислотность мякиша, %	1,70 ± 0,08	1,72 ± 0,08	1,73 ± 0,08	1,80 ± 0,08	1,91 ± 0,08
Пористость мякиша, %	74,0 ± 0,3	72,4 ± 0,3	71,0 ± 0,3	69,3 ± 0,3	67,4 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	290 ± 12	280 ± 11	274 ± 12	269 ± 8	264 ± 7
Крошковатость, %	3,2 ± 0,1	3,6 ± 0,1	4,3 ± 0,1	4,8 ± 0,1	5,5 ± 0,2
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,7 ± 0,3	6,6 ± 0,2	6,6 ± 0,2	6,4 ± 0,2	6,3 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,36 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,36 ± 0,01
Образец 7 (упек – 9,5 ± 0,4 %)					
Влажность мякиша, %	44,8 ± 0,2	44,3 ± 0,3	43,4 ± 0,2	42,5 ± 0,2	39,3 ± 0,2
Кислотность мякиша, %	1,72 ± 0,08	1,73 ± 0,08	1,74 ± 0,08	1,86 ± 0,08	1,93 ± 0,09
Пористость мякиша, %	67,8 ± 0,4	67,4 ± 0,4	66,9 ± 0,3	65,8 ± 0,3	64,5 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	270 ± 11	266 ± 11	260 ± 10	256 ± 9	250 ± 7
Крошковатость, %	3,4 ± 0,1	3,7 ± 0,1	4,4 ± 0,1	5,0 ± 0,1	5,8 ± 0,1
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,4 ± 0,2	6,4 ± 0,1	6,2 ± 0,1	6,1 ± 0,1	6,0 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,43 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,43 ± 0,02

мякиша: у образца 4 несоответствие отмечено через 72 ч, у образца 7 – через 108 ч хранения. Удельный объем контрольного и опытных образцов хлеба снижался в среднем на 8,8 % через 108 ч хранения, что объясняется процессом усыхания.

Внесение *R. sativus* L. var. *sativus* в рецептуру хлеба привело к снижению значений упека и набухаемости мякиша опытных образцов, по сравнению с контрольным. Через 3 ч после выпечки наибольшее уменьшение показателей отмечено у образцов с содержанием растительного ингредиента в количестве 15 % от массы муки. В частности, у образца 4 (измельченные корнеплоды) упек и набухаемость снизились на 19,4 и 13,2 % соответственно, а у образца 7 (гомогенная пюреобразная масса) – на 12,0 и 5,9 %. Крошковатость мякиша в опытных образцах увеличивалась, по сравнению с контрольным. Через 3 ч после выпечки наибольшие значения крошковатости наблюдали у образцов с добавлением корнеплодов в количестве 15 %: у образца 4 (измельченные корнеплоды) увеличение составило 9,4 %, у образца 7 (гомогенная пюреобразная масса) – 6,3 %. В процессе хранения все образцы хлеба демонстрировали снижение способности к набуханию мякиша. Через 108 ч это снижение в среднем составило 6,4 %. Одновременно происходил рост крошковатости, которая увеличилась в среднем на 71,4 % за тот же период. Изменения упека, набухаемости и крошковатости опытных образцов хлеба, по сравнению с контрольным, объясняются высокой влагоудерживающей способностью пищевых волокон корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*.

Корнеплоды *R. sativus* L. var. *sativus* являются источником пищевых волокон, в том числе клетчатки. Включение растительного сырья в количестве 5, 10

и 15 % от массы муки, независимо от формы внесения, привело к увеличению содержания клетчатки в опытных образцах хлеба в среднем в 1,3, 1,7 и 2,1 раза, по сравнению с контрольным образцом. На протяжении всего срока хранения во всех образцах хлеба содержание сырой клетчатки оставалось неизменным.

Результаты исследования реологических характеристик контрольного и опытных образцов хлеба представлены в таблице 6.

Через 3 ч после выпечки, при увеличении количества добавляемых измельченных корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* до 5, 10 и 15 % от массы муки (образцы 2–4), мякиш хлеба становился более плотным, что сопровождалось снижением его деформации, по сравнению с контрольным образцом. Уменьшение деформации происходило в следующих пределах: общая деформация – в среднем на 19,6, 56,5 и 67,2 %; пластическая – на 30,0, 60,0 и 76,7 %; упругая деформация – на 14,5, 56,8 и 62,5 % соответственно. Аналогичные изменения наблюдались у образцов хлеба, в состав которых входили корнеплоды в виде гомогенной пюреобразной массы (образцы 6 и 7). При этом снижение деформации было следующим: общая деформация – на 16,6 и 64,9 %, пластическая – на 38,9 и 71,7 %, упругая деформация – на 5,8 и 61,6 %. Использование корнеплодов в количестве 5 % от массы муки в виде пюреобразной массы (образец 5) не приводило к значительным изменениям, мякиш сохранял высокую эластичность с минимальными изменениями деформации: общая деформация увеличилась на 12,2 %, пластическая – на 1,36 %, упругая деформация – на 17,5 %, по сравнению с контрольным образцом. Эти результаты согласуются с органолептическими показателями и значением пористости мякиша.

Таблица 6. Реологические характеристики контрольного и опытных образцов хлеба, мм

Table 6. Rheological profile of control vs. experimental bread samples, mm

Деформация	Продолжительность хранения, ч	Образец 1 (контроль)	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7
Общая	3	11,258	9,056	4,896	3,697	12,636	9,391	3,955
	24	7,610	3,770	3,538	2,719	8,453	4,732	3,125
	48	3,911	2,834	2,793	2,059	7,013	3,790	2,351
	72	3,471	2,563	2,413	1,784	6,212	3,397	2,119
	108	2,874	1,974	1,867	1,274	4,750	2,764	1,562
Пластическая	3	3,671	2,568	1,617	0,855	3,721	2,244	1,040
	24	4,284	0,923	0,944	0,624	2,259	1,009	0,811
	48	1,129	0,853	0,536	0,585	1,513	1,141	1,316
	72	1,074	0,786	0,610	0,567	1,450	1,085	1,112
	108	0,874	0,613	0,624	0,637	0,440	0,845	1,054
Упругая	3	7,587	6,487	3,279	2,842	8,915	7,147	2,915
	24	3,326	2,847	2,594	2,095	6,194	3,723	2,314
	48	2,782	1,981	2,257	1,474	5,500	2,649	1,035
	72	2,397	1,777	1,803	1,217	4,762	2,312	1,007
	108	2,000	1,361	1,243	0,637	4,310	1,919	0,508

С увеличением срока хранения наблюдалось снижение всех типов деформации в мякише, причем наиболее интенсивное снижение происходило в первые 48 ч. Это может быть обусловлено тем, что связи клейковины и крахмала в хлебной матрице становятся более жесткими и переходят в стеклообразное состояние при усыхании изделий, ограничивая их дальнейшую деформацию [41]. Через 108 ч хранения в опытных образцах хлеба снижение деформации по сравнению с контрольным составило:

- общая деформация: для образца 2 – на 31,3 %, для образца 3 – на 35,0 %, для образца 4 – на 55,7 %, для образца 6 – на 3,8 %, для образца 7 – на 45,7 %;
- пластическая деформация: для образца 2 – на 29,9 %, для образца 3 – на 28,6 %, для образца 4 – на 27,1 %, для образца 5 – на 49,7 %, для образца 6 – на 3,3 %;
- упругая деформация: для образца 2 – на 32,0 %, для образца 3 – на 37,9 %, для образца 4 – на 68,2 %, для образца 6 – на 4,1 %, для образца 7 – на 74,6 %.

В образце 5, напротив, через 108 ч хранения, по сравнению с контрольным образцом, наблюдалось увеличение общей и упругой деформации на 65,3 и 115,5 % соответственно, что может быть связано с его исходными реологическими свойствами.

Контрольный и опытные образцы хлеба являются безопасными для потребления, поскольку через 3 ч после выпечки в них не были обнаружены мезофильно-аэробные, факультативно-анаэробные и патогенные микроорганизмы, а также условно патогенные бактерии (*Staphylococcus aureus*, *Proteus*, группа кишечных палочек (колиформы)) и плесневые грибы, что соответствует требованиям ТР ТС 021/2011 – не более $1,00 \times 10^3$ КОЕ/г.

После 24 ч хранения в образце хлеба 4, содержащем измельченные корнеплоды *R. sativus* L. var. *sativus* в количестве 15 % от массы муки, были выявлены мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы. В остальных образцах хлеба, включая контрольный, указанные микроорганизмы отсутствовали. На протяжении 72 ч хранения всех образцов

количество исследуемых микроорганизмов находилось в пределах нормы, составляя $(3,18-9,54) \times 10^2$ КОЕ/г (табл. 7). После 108 ч хранения в образцах хлеба 4 и 7, содержащих корнеплоды в количестве 15 % от массы муки, независимо от формы внесения, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов превысило нормируемые показатели в 1,14 и 1,03 раза соответственно. В остальных образцах хлеба содержание микроорганизмов оставалось в регламентируемых пределах.

В ходе всего исследуемого периода хранения количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в опытных образцах превышало аналогичный показатель для контрольного образца в среднем в 2 раза. Содержащаяся в опытных образцах хлеба клетчатка позволяла лучше удерживать воду, способствуя тем самым развитию микроорганизмов [42].

Патогенные микроорганизмы, условно патогенные бактерии и плесневые грибы в процессе хранения как контрольного, так и опытных образцов хлеба выявлены не были. Таким образом, корнеплоды *R. sativus* L. var. *sativus* не могут быть рекомендованы в качестве биоконсервантов при производстве хлеба из пшеничной муки.

При оценивании значимости факторов, влияющих на формирование внешнего вида, влажности, кислотности, пористости мякиша, удельного объема опытных образцов хлеба, а также их реологических характеристик, установлено, что количество вносимого растительного сырья оказывало на них наибольшее влияние, в отличие от формы их внесения (табл. 8). Подобная тенденция характерна и для содержания биологически активного компонента – клетчатки. В результате проведенного дисперсионного анализа установлено, что существенное влияние на формирование вкуса опытных образцов хлеба оказывала форма вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*. Состояние мякиша, упек и крошковатость опытных образцов хлеба, так же как и набухаемость мякиша,

Таблица 7. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в контрольном и опытных образцах хлеба*, КОЕ/г

Table 7. Mesophilic aerobic and opportunistic anaerobic microbial count in control vs. experimental bread samples*, CFU/g

Образец	Продолжительность хранения, ч				
	3	24	48	72	108
1 (контроль)	нет роста	нет роста	$1,36 \times 10^2$	$3,18 \times 10^2$	$6,36 \times 10^2$
2	нет роста	нет роста	$1,82 \times 10^2$	$6,36 \times 10^2$	$8,64 \times 10^2$
3	нет роста	нет роста	$8,18 \times 10^2$	$8,64 \times 10^2$	$9,09 \times 10^2$
4	нет роста	$2,27 \times 10^2$	$9,09 \times 10^2$	$9,54 \times 10^2$	$1,14 \times 10^3$
5	нет роста	нет роста	$5,45 \times 10^2$	$5,91 \times 10^2$	$7,73 \times 10^2$
6	нет роста	нет роста	$6,82 \times 10^2$	$7,73 \times 10^2$	$8,18 \times 10^2$
7	нет роста	нет роста	$8,64 \times 10^2$	$9,09 \times 10^2$	$1,03 \times 10^3$

Примечание: * норма согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» – не более $1,00 \times 10^3$ КОЕ/г.

Note: *the standard according to the TR CU 021/2011 – $\leq 1,00 \times 10^3$ CFU/g.

Таблица 8. Значимость факторов, влияющих на формирование характеристик качества контрольного и опытных образцов хлеба, %

Table 8. Factors that affect the quality of control vs. experimental bread samples, %

Показатель	Фактор А		Фактор В		Фактор АВ	
	Влияние	HCP _{0,5} ($p < 0,05$)	Влияние	HCP _{0,5} ($p < 0,05$)	Влияние	HCP _{0,5} ($p < 0,05$)
Внешний вид	3,39	6,80	91,72	10,00	15,20	0
Состояние мякиша	39,76	2,80	56,08	4,20	1,70	0
Вкус	75,11	3,00	7,60	4,50	15,20	0
Запах	0	1,20	0	1,80	0	0
Влажность мякиша	28,12	1,51	60,40	2,24	7,42	0
Кислотность мякиша	10,14	1,50	57,13	2,20	31,58	0
Пористость мякиша	11,35	4,05	82,82	5,99	5,60	0
Удельный объем	18,53	9,26	77,68	1,36	0,00	0
Упек	46,20	1,51	45,53	2,24	6,51	0
Крошковатость	41,73	1,38	47,48	2,04	0,00	0
Набухаемость мякиша	47,28	1,51	45,52	2,24	4,66	0
Массовая доля сырой клетчатки	1,30	1,50	97,89	2,20	0	0
Общая деформация	20,66	0,20	66,03	0,30	13,31	0
Пластическая деформация	13,91	0,20	78,51	0,30	7,58	0
Упругая деформация	22,76	0,50	58,75	0,70	18,49	0

Примечание: А – форма внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* (измельченные или пюреобразные); В – количество вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*; HCP – наименьшая существенная разница.

Note: A – form of application (crushed / puree); B – quantity; HCP – the least significant difference.

зависели от количества вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*, и от формы их внесения. Взаимодействие исследуемых факторов было значимо для кислотности мякиша опытных образцов хлеба, но практически не влияло на другие органолептические и физико-химические показатели, реологические характеристики продукции. Запах опытных образцов хлеба не зависел от исследуемых факторов.

Проведенный дисперсионный анализ с целью выявления степени влияния формы внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*, количества вносимого растительного ингредиента, продолжительности хранения и их взаимодействия на изменения характеристик качества опытных образцов хлеба в процессе хранения представлен в таблице 9.

Существенное влияние на изменения внешнего вида, пористость, удельный объем опытных образцов хлеба, а также содержание в них клетчатки в процессе хранения оказывало количество вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*; на состояние мякиша, запах, влажность, кислотность, крошковатость, пластическую деформацию мякиша, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов – продолжительность хранения; на вкус, набухаемость, общую и упругую деформацию мякиша – срок хранения и форма внесения растительного ингредиента. Взаимодействие рассматриваемых факторов на органолептические характеристики и физико-химические показатели опытных образцов хлеба практически не оказывало на них влияния.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что форма и количество добавляемых корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus* вызывали изменения качественных характеристик теста и конечного продукта.

Увеличение количества добавляемого растительного сырья приводило к снижению эластичности и растяжимости теста, повышению его упругости и кислотности. При использовании гомогенной пюреобразной массы корнеплодов реологические характеристики теста лучше, его кислотность выше, чем при использовании измельченной массы. Отмечено, что наибольшее влияние на изменение общей и пластической деформации теста оказывало взаимодействие факторов формы и количества добавляемых корнеплодов, на изменение упругой деформации – количество добавляемых корнеплодов, на кислотность – продолжительность процесса брожения. Внесение корнеплодов способствовало сокращению времени брожения теста в среднем на 28 мин.

Хлеб с добавлением корнеплодов в виде измельченной или пюреобразной гомогенной массы, независимо от количества, характеризовали оригинальными органолептическими характеристиками, приемлемыми физико-химическими, в том числе реологическими, и микробиологическими показателями. Использование корнеплодов повышало пищевую ценность хлеба за счет клетчатки в среднем в 1,7 раза. Установлено, что количество используемых корнеплодов оказывает

Таблица 9. Значимость факторов, влияющих на изменения органолептических, физико-химических и реологических показателей, содержание мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов контрольного и опытных образцов хлеба в процессе хранения, %

Table 9. Factors that affect sensory, physicochemical, and rheological properties, as well as mesophilic aerobic and opportunistic anaerobic microbial count in control vs. experimental bread samples during storage, %

Показатель	Фактор А		Фактор В		Фактор D		Фактор АВ		Фактор AD		Фактор BD	
	Влияние	HCP _{0.5} (<i>p</i> < 0,05)	Влияние	HCP _{0.5} (<i>p</i> < 0,05)	Влияние	HCP _{0.5} (<i>p</i> < 0,05)	Влияние	HCP _{0.5} (<i>p</i> < 0,05)	Влияние	HCP _{0.5} (<i>p</i> < 0,05)	Влияние	HCP _{0.5} (<i>p</i> < 0,05)
Внешний вид	3,03	3,33	91,75	4,07	2,09	5,26	0,99	5,76	0,00	7,44	0,00	9,11
Состояние мякиша	14,93	2,13	10,94	2,61	70,08	3,37	0,00	3,69	0,81	4,76	0,00	5,83
Запах	11,93	4,78	1,77	5,86	20,54	7,56	0,00	8,28	0,00	10,69	0,00	13,09
Вкус	36,90	3,14	6,05	3,84	50,36	4,96	0,11	5,43	3,18	7,01	0,45	8,59
Влажность мякиша	0,82	7,61	4,56	9,32	93,29	12,03	0,32	1,32	0,12	1,70	0,74	2,08
Кислотность мякиша	5,89	3,07	19,60	3,77	60,72	4,86	2,76	5,33	0,00	6,88	0,00	8,42
Пористость мякиша	7,86	2,92	66,47	3,58	20,68	4,62	2,30	5,06	0,00	6,52	1,85	8,00
Удельный объем	15,41	1,32	62,75	1,61	18,47	2,09	2,64	2,29	0,00	2,95	0,25	3,62
Крошковатость	2,69	4,07	2,91	4,98	92,36	6,43	1,59	7,04	0,12	9,10	0,10	1,11
Набухаемость мякиша	38,77	2,17	43,83	2,66	12,79	3,44	3,87	3,77	0,07	4,86	0,40	5,95
Массовая доля сырой клетчатки	0,77	0,00	98,46	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Общая деформация	16,59	6,01	26,77	7,37	32,16	9,51	12,74	1,04	0,00	1,34	7,13	1,65
Пластическая деформация	16,95	2,41	13,84	2,96	32,08	13,81	0,12	4,18	0,00	5,40	25,98	6,61
Упругая деформация	15,00	5,63	29,59	6,90	29,45	8,91	17,60	9,76	0,00	1,26	1,49	5,43
КМАФАММ	0,85	1,23	6,40	1,50	72,79	1,94	1,58	2,13	1,85	2,74	6,95	3,36

Примечание: А – форма внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* (измельченные или пюреобразные); В – количество вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*; D – продолжительность хранения хлеба; HCP – наименьшая существенная разница.

Note: A – form of application (crushed / puree); B – quantity; HCP – the least significant difference.

наибольшее влияние на формирование внешнего вида хлеба, а также на такие показатели, как влажность, кислотность, пористость мякиша, удельный объем, реологические характеристики и содержание клетчатки. В то же время вкусовые качества хлеба в большей степени зависят от формы внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*. На состояние мякиша, упек, крошковатость и набухаемость значительное влияние оказывает как количество, так и форма внесения растительного сырья.

В результате комплексных исследований установлен срок хранения хлеба с добавлением *R. sativus* L. var. *sativus* в количестве до 10 % от массы муки – не более 72 ч. Использование корнеплодов в количестве 15 % от массы муки, независимо от формы внесения корнеплодов, снижало срок хранения хлеба на 24 ч, поскольку через 108 ч хранения отмечено ухудшение органолептических, физико-химических, в том числе реологических, характеристик и интенсивность роста мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАММ).

Таким образом, хлебобулочные изделия с добавлением корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* могут быть рекомендованы производителям и потребителям, заинтересованным в продуктах с оригинальными

сенсорными характеристиками и повышенной пищевой ценностью. Полученные результаты расширяют область знаний об использовании нетрадиционных растительных ингредиентов в технологиях хлебобулочных изделий, способствующих укреплению здоровья.

Критерии авторства

Авторы в равной степени внесли свой вклад в это исследование и одобрили окончательный вариант рукописи; все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Пьяникова Э. А., Ковалева А. Е., Быковская Е. И., Говядова И. А., Тараторина О. С. Разработка технологии цельнозернового хлеба с применением различных заквасок. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 23–30. [Pyanikova EA, Kovaleva AE, Bykovskaya EI, Govyadova IA, Taratorina OS. Development of whole grain bread technology with the use of various starter cultures. Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex-Healthy Food Products. 2022;(4):23–30. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/FTTHUQL>
2. Cacak-Pietrzak G, Dziki D, Gawlik-Dziki U, Sułek A, Wójcik M, et al. Dandelion flowers as an additive to wheat bread: physical properties of dough and bread quality. *Applied Sciences*. 2023;13(1):477. <https://doi.org/10.3390/app13010477>
3. Стахурлова А. А., Дерканосова Н. М., Буховец А. Г. Анализ потребительских предпочтений к обогащенному хлебу с использованием методики взаимосвязи переменных. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2021. Т. 6. № 71. С. 109–115. [Stakhurlova AA, Derkanosova NM, Bukhovets AG. Analysis of consumer preferences for enriched bread using the variables relationship methodology. Technology and the study of merchandise of innovative foodstuffs. 2021;6(71):109–115. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/IDOCWI>
4. Miolla R, Ottomano Palmisano G, Roma R, Caponio F, Difonzo G, et al. Functional foods acceptability: A consumers' survey on bread enriched with oenological by-products. *Foods*. 2023;12(10):2014. <https://doi.org/10.3390/foods12102014>
5. Перфилова О. В., Брыксина К. В. Технология производства овощной пасты – источника физиологически активных ингредиентов для хлеба. Пищевая промышленность. 2022. № 11. С. 38–41. [Perfilova OV, Bryksina KV. Technology for the production of vegetable paste – a source of physiologically active ingredients for bread. Food Industry. 2022;(11):38–41. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.11.11.009>
6. Дерканосова Н. М., Шеламова С. А., Василенко О. А., Каширина Н. А., Стахурлова А. А. и др. Проектирование обогащенных хлебобулочных изделий с прогнозируемым уровнем. Пищевая промышленность. 2022. № 7. С. 53–58. [Derkanosova NM, Shelamova SA, Vasilenko OA, Kashirina NA, Stakhurlova AA, et al. Designing enriched bakery products with a predictable level of quality. Food Industry. 2022;(7):53–58. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.7.7.010>
7. Паймулина А. В., Потороко И. Ю., Науменко Н. В., Мотовилов О. К. Сонохимическое микроструктурирование альгината натрия для повышения его эффективности в технологии хлебобулочных изделий. Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 1. С. 13–24. [Paymulina AV, Potoroko IYu, Naumenko NV, Motovilov OK. Sonochemical microstructuring of sodium alginate to increase its effectiveness in bakery. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(1):13–24. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2411>
8. Mitelut AC, Popa EE, Popescu PA, Popa ME. Trends of innovation in bread and bakery production. *Trends in Wheat and Bread Making*. 2021;(7):199–226. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821048-2.00007-6>
9. Wang Y, Jian C. Sustainable plant-based ingredients as wheat flour substitutes in bread making. *npj Science of Food*. 2022;6(1):49. <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00163-1>
10. Шмалько Н. А. Рациональные технологии пшеничных хлебобулочных изделий с использованием амарантовой муки. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2021. № 4. С. 6–9. [Shmalko NA. Rational technologies of wheat bakery products with the use of amaranth flour. Izvestiya Vuzov. Food Technology. 2021;(4):6–9. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.4.1>
11. Adamczyk G, Ivanišová E, Kaszuba J, Bobel I, Khvostenko K, et al. Quality assessment of wheat bread incorporating chia seeds. *Foods*. 2021;10(10):2376. <https://doi.org/10.3390/foods10102376>
12. Coțovanu I, Ungureanu-Iuga M, Mironeasa S. Investigation of quinoa seeds fractions and their application in wheat bread production. *Plants*. 2021;10(10):2150. <https://doi.org/10.3390/plants10102150>
13. Шаболкина Е. Н., Анисимкина Н. В., Майстренко О. А. Изучение биохимических свойств муки зернобобовых культур (горох, соя), физических и хлебопекарных показателей теста смесей с пшеничной мукой. Зерновое хозяйство России. 2022. № 1. С. 65–69. [Shabolkina EN, Anisimkina NV, Maistrenko OA. The study of biochemical properties of legume flour (peas, soybeans), physical and baking indicators of the dough from mixtures with wheat flour. Grain Economy of Russia. 2022;(1):65–69. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-79-1-65-69>
14. Atudorei D, Atudorei O, Codină GG. The impact of germinated chickpea flour addition on dough rheology and bread quality. *Plants*. 2022;11(9):1225. <https://doi.org/10.3390/plants11091225>
15. Carboni AD, Salinas MV, Puppo MC. Production of legume-wheat dough of optimum quality for breadmaking: Essential analyzes required. *Current Opinion in Food Science*. 2022;(49):100970. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100970>
16. Иванова Н. Н., Каргин В. И., Иванов Д. И., Данилин С. И., Ильинский А. С. Применение семян масличных культур в технологии приготовления пшеничного хлеба. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 92–99. [Ivanova NN, Kargin VI, Ivanov DI, Danilin SI, Ilyinsky AS. The use of oilseeds in the technology of making wheat bread. Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex-Healthy Food Products. 2022;(4):92–99. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-4-92-99>
17. Pycia K, Pawłowska AM, Kaszuba J, Żurek N. Walnut male flowers (*Juglans regia* L.) as a functional addition to wheat bread. *Foods*. 2022;11(24):3988. <https://doi.org/10.3390/foods11243988>

18. Zlateva D, Stefanova D, Chochkov RM, Ivanova P. Study on the impact of pumpkin seed flour on mineral content of wheat bread. *Food Science and Applied Biotechnology*. 2022;5(2):131–139. <https://doi.org/10.30721/fsab2022.v5.i2.177>
19. Давыденко Н. И., Голуб О. В., Ульянова Г. С. Изменение антиоксидантного статуса ржано-пшеничных хлебо-булочных изделий при применении пряно-ароматического сырья. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021. Т. 10. № 2. С. 122–126. [Davydenko NI, Golub OV, Ulyanova GS. On the use of aromatic raw materials as a source of antioxidants in the rye-wheat bread. *XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present Plus*. 2021;10(2): 122–126. (In Russ.)] <https://doi.org/10.46548/21vek-2021-1054-0023>
20. Иванова Н. Н., Каргин В. И., Иванов Д. И., Данилин С. И., Ильинский А. С. и др. Применение сушеных овощей при производстве мелкоштучных хлебобулочных изделий. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 3. С. 58–65. [Ivanova NN, Kargin VI, Ivanov DI, Danilin SI, Ilyinsky AS, *et al*. The use of dried vegetables in the production of small-piece bakery products. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex-Healthy Food Products*. 2022;(3):58–65. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/CTPJLN>
21. Amoah I, Cairncross C, Osei EO, Yeboah JA, Cobbinah JC, *et al*. Bioactive properties of bread formulated with plant-based functional ingredients before consumption and possible links with health outcomes after consumption – A review. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2022;77(3):329–339. <https://doi.org/10.1007/s11130-022-00993-0>
22. Jansone L, Kruma Z, Majore K, Kampuse S. Dehydrated sauerkraut juice in bread and meat applications and bio-accessibility of total phenol compounds after in vitro gastrointestinal digestion. *Applied Sciences*. 2023;13(5):3358. <https://doi.org/10.3390/app13053358>
23. Korus A, Witczak M, Korus J, Juszcak L. Dough rheological properties and characteristics of wheat bread with the addition of lyophilized kale (*Brassica oleracea* L. var. *sabellica*) powder. *Applied Sciences*. 2023;13(1):29. <https://doi.org/10.3390/app13010029>
24. Kwon H, Lee D-U, Lee S. Lutein fortification of wheat bread with marigold powder: Impact on rheology, water dynamics, and structure. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2023;103(11):462–471. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12621>
25. Liu Y, Zhang Q, Wang Y, Xu P, Wang L, *et al*. Enrichment of wheat bread with *Platycodon grandiflorus* root (PGR) flour: Rheological properties and microstructure of dough and physicochemical characterization of bread. *Foods*. 2023; 12(3):580. <https://doi.org/10.3390/foods12030580>
26. Xin T, Tang S, Su T, Huang Z, Huang F, *et al*. Impact of replacing wheat flour with lychee juice by-products on bread quality characteristics and microstructure. *LWT – Food Science and Technology*. 2022;165:113696. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113696>
27. Битуева Э. Б., Бильтрикова Т. В. Технология мясного продукта, содержащего *Raphanus sativus* L. Все о мясе. 2015. № 2. С. 23–26. [Bituyeva EB, Biltrikova TV. Technology of the meat product containing *Raphanus sativus* L. All about meat. 2015;(2):23–26. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/TSVYXT>
28. Косенко М. А. Эффективность выращивания редьки европейской зимней в Нечерноземной зоне Российской Федерации. Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 7–2. С. 173–175. [Kosenko MA. Efficiency of cultivation of european winter radish in the non-black earth zone of the Russian Federation. *International Research Journal*. 2022;(7–2):173–175. (In Russ.)] <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.070>
29. Gamba M, Asllanaj E, Raguindin PF, Glisic M, Franco OH, *et al*. Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021;113:205–218. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.045>
30. Blažević I, Mastelić J. Glucosinolate degradation products and other bound and free volatiles in the leaves and roots of radish (*Raphanus sativus* L.). *Food Chemistry*. 2009;113(1):96–102. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.029>
31. Shukla S, Chatterji S, Yadav DK, Watal G. Antimicrobial efficacy of *Raphanus sativus* root juice. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2011;3(5)89–92.
32. Zhang J, Qiu X, Tan Q, Xiao Q, Mei S. A comparative metabolomics study of flavonoids in radish with different skin and flesh colors (*Raphanus sativus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(49):14463–14470. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c05031>
33. Битуева Э. Б., Анцупова Т. П., Ханхалаева И. А., Ламажапова Г. П. Изменение сенсорных свойств мясных моделей при включении разных количеств *Raphanus sativus*. Вестник ВСГУТУ. 2020. № 4. С. 12–20. [Bituyeva EB, Antsupova TP, Khankhalaeva IA, Lamazhapova GP. Change in sensory properties of meat models when including different amounts of *Raphanus sativus*. *ESSUTM Bulletin*. 2020;(4):12–20. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XTPBAI>
34. Румянцева В. В., Туркова А. Ю. Совершенствование технологии использования местного сырья в производстве карамели. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2022. № 5. С. 49–52. [Rumyantseva VV, Turkova AYU. Improvement of the technology of the use of local raw materials in the production of caramel. *Technology and the study of merchandise of innovative foodstuffs*. 2022;(5):49–52. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PIPVQC>
35. Pardali E, Paramithiotis S, Papadelli M, Mataragas M, Drosinos EH. Lactic acid bacteria population dynamics during spontaneous fermentation of radish (*Raphanus sativus* L.) roots in brine. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2017;33(6):1–9. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2276-8>

36. Rahman M, Islam R, Hasan S, Zzaman W, Rana MR, *et al.* A comprehensive review on bio-preservation of bread: An approach to adopt wholesome strategies. *Foods*. 2022;11(3):319. <https://doi.org/10.3390/foods11030319>
37. Wang D, Wang Q, Sun Y, Qing Z, Zhang J, *et al.* Effect of insoluble dietary fiber extracted from feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret.) supplementation on physicochemical and functional properties of wheat bread. *Foods*. 2023;12(10):2019. <https://doi.org/10.3390/foods12102019>
38. Ершов П. С. Сборник рецептур на хлеб и хлебобулочные изделия. СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ; 2004. 192 с. [Ershov PS. Formulations for bread and bakery products. St. Petersburg: PROFI-INFORM; 2004. 192 p. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/QNFVSB>
39. Давыденко Н. И., Уржумова А. И., Шевелева Г. И., Григорьева Р. З. Влияние режимов и параметров выпечки в пароконвектомате на качество сдобных булочных изделий. *Техника и технология пищевых производств*. 2017. Т. 44. № 1. С. 11–16. [Davydenko NI, Urzhumova AI, Sheveleva GI, Grigor'eva RZ. Effect of baking modes and options in a steam-convection oven on quality of buns. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;44(1):11–16. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-136-142>
40. Паймулина А. В., Калинина И. В., Наumenко Н. В., Потороко И. Ю. Пищевые ингредиенты направленного действия в технологии хлебобулочных. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2018. Т. 6. № 3. С. 22–32. [Paimulina AV, Kalinina IV, Naumenko NV, Potoroko IYu. Direct effect food ingredients in bakery products technology. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2018; 6(3):22–32. (In Russ.)] <https://doi.org/10.14529/food180303>
41. Chen Y, Parrilli A, Jaedig F, Fuhrmann A, Staedeli C, *et al.* Micro-computed tomography study on bread dehydration and structural changes during ambient storage. *Journal of Food Engineering*. 2021;296:110462. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110462>
42. Barroca MJ, Flores C, Ressurreição S, Guiné R, Osório N, *et al.* Re-thinking table salt reduction in bread with halophyte plant solutions. *Applied Sciences*. 2023;13(9):5342. <https://doi.org/10.3390/app13095342>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2552>
<https://elibrary.ru/XJGOQI>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Технологические параметры приготовления теста для сахарного и затыжного печенья



П. В. Медведев^{ID}, В. А. Федотов^{*ID}, И. А. Бочкарева

Оренбургский государственный университет^{ROR}, Оренбург, Россия

Поступила в редакцию: 22.01.2024

Принята после рецензирования: 26.09.2024

Принята к публикации: 01.10.2024

*В. А. Федотов: vital_asm@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-3692-9722>

П. В. Медведев: <https://orcid.org/0000-0001-9715-5612>

© П. В. Медведев, В. А. Федотов, И. А. Бочкарева, 2025



Аннотация.

Кондитерское тесто для разных видов изделий отличается технологическими свойствами, поэтому важным является подбор оптимальных режимов производства. Цель работы – изучить влияние технологических параметров приготовления теста и муки из пшеницы различной твердозерности на реологические свойства теста и качество готовых изделий – сахарного и затыжного печенья.

Объекты исследования – зерно пшеницы и мука, выработанная из него, тесто для сахарного и затыжного печенья, готовые изделия. Оценка твердозерности пшеницы проводили гранулометрическим способом. Амилографические характеристики муки измеряли амилографом Brabender (ООО «Брабендер», Россия), реологические свойства теста – ротационным вискозиметром Реотест-2 (Mettingen, Германия), прочностные характеристики печенья – структурометром СТ-2 (ООО «Лаборатория качества», Россия).

Выявлено уменьшение вязкости теста по мере снижения твердозерности пшеницы. Зависимость напряжения сдвига тестовых масс от скорости их деформации наиболее точно описывается степенными функциями. Использование муки из сверхтвердозерной пшеницы в сравнении с мягкозерной увеличивало прочностные свойства сахарного печенья в среднем на 55–60 %, затыжного – на 45–50 %. Максимальная высота амилограммы для мягкозерной пшеницы составила около 237 ед. амилографа, для сверхтвердозерной – 852 ед. амилографа. Намокаемость печенья из пшеницы с твердозерностью ниже средней максимальна, из сверхтвердозерной – минимальна, разница составляет около 60 %. Учет твердозерности пшеницы, из которой произведена мука, позволяет формировать новые рецептуры печенья, варьируя дозировки сахара и жира.

Системный подход к варьированию технологических параметров приготовления теста с учетом твердозерности пшеницы позволил разработать методологию управления формированием реологических свойств тестовых заготовок и качеством сахарного и затыжного печенья. Дальнейшие исследования предполагают разработку систем управления качеством мучных кондитерских изделий.

Ключевые слова. Твердозерность, зерно, пшеница, мучные кондитерские изделия, тесто, реологические свойства, качество

Для цитирования: Медведев П. В., Федотов В. А., Бочкарева И. А. Технологические параметры приготовления теста для сахарного и затыжного печенья. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 61–73. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2552>

Dough-Making Technology for Sugar and Hard-Dough Cookies



Pavel V. Medvedev^{ID}, Vitalij A. Fedotov^{*ID}, Irina A. Bochkareva

Orenburg State University^{ROR}, Orenburg, Russia

Received: 22.01.2024

Revised: 26.09.2024

Accepted: 01.10.2024

*Vitalij A. Fedotov: vital_asm@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-3692-9722>

Pavel V. Medvedev: <https://orcid.org/0000-0001-9715-5612>

© P.V. Medvedev, V.A. Fedotov, I.A. Bochkareva, 2025



Abstract.

Pastry dough differs in technological properties and requires optimal production modes. The article describes the effect of technological variables of flour from wheat samples with different grain hardness on the rheological profile of dough and the quality of sugar and hard-dough cookies.

The research featured wheat grain, flour, and dough for sugar and hard-dough cookies. The grain hardness was assessed using the granulometric method. The amylographic profile of the flour was measured with a Brabender amylograph (Brabender, LLC, Russia), the rheological properties of the dough were analyzed with a Rheotest-2 rotational viscometer (Mettingen, Germany), and the strength characteristics of the cookies were tested with an ST-2 structure meter (Laboratoria Kachestva, LLC, Russia).

The dough viscosity went down together with the grain hardness. The dependence of the shear stress of the dough on the deformation rate was described by power functions. The extra-hard wheat flour raised the strength by 55–60% in sugar cookies and by 45–50% in hard cookies. The maximal amylogram height was 237 amylograph units for soft wheat and 852 amylograph units for extra-hard wheat. The cookies with low grain hardness demonstrated the highest water-absorption with a 60% difference from the extra-hard wheat samples. The grain hardness indicator made it possible to develop new cookie formulations by varying the amounts of sugar and fat.

A systematic approach to technological variables of dough-making from wheat grain with different hardness yielded a new control method to program the rheological properties of dough and the quality of sugar and hard-dough cookies. Further research will provide new quality management systems for different pastries.

Keywords. Hardness of grain, grain, wheat, pastry, dough, rheological properties, quality

For citation: Medvedev PV, Fedotov VA, Bochkareva IA. Dough-Making Technology for Sugar and Hard-Dough Cookies. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):61–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2552>

Введение

В соответствии со стратегией развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 г., приоритетным направлением кондитерской отрасли пищевой промышленности является диверсификация рынка за счет совершенствования структуры ассортимента производимых кондитерских изделий, экономии дефицитных видов сырья, создания изделий максимально возможного качества. Пути решения поставленных задач заключаются в стимулировании производителей к выпуску пищевых продуктов с заданными потребительскими свойствами.

В современном мире большое значение придается рациональному использованию сырья в производстве. Бережливые технологии в пищевом производстве предполагают снижение затрат при одновременном

росте выхода готовой продукции, что ведет к повышению эффективности работы предприятий. Системный подход к пищевому производству возможен путем мониторинга качества и гибкого управления технологическими свойствами сырья, полуфабрикатов на всем протяжении производственного цикла [1]. Существующие нормативно-технические регламенты определяют технологические свойства преимущественно хлебопекарной, в меньшей степени – кондитерской муки. В то же время предъявляемые к муке хлебопекарной и кондитерской требования имеют различия в важных характеристиках белково-протеиназного и углеводно-амилазного комплексов муки [2].

Закрепленное в государственных стандартах Российской Федерации разделение пшеницы на яровую и озимую никак не характеризует ее твердозерность. В ГОСТ 27186-86 присутствует определение признака

твердозерности пшеницы. Стандарты Канады и США предусматривают деление пшеницы на твердозерные и мягкозерные сорта. Такой подход основан на различиях твердозерных и мягкозерных пшениц по структурно-механическим свойствам (энергия на разрушение во время помола, гранулометрический состав продуктов измельчения, микротвердость зерна и пр.). Отечественные стандарты не решают проблем использования мучного сырья без его маркировки по показателю твердозерности.

Различия мягкозерных и твердозерных пшениц основываются на физических качествах структуры зерновки. Граница разрушения эндосперма зерна мягкозерных пшениц проходит по внутренним компонентам клеток. Мука, образующаяся при помоле таких пшениц, отличается неправильной формой частиц с множеством мелких фрагментов. Слипаящиеся частицы в виде агломератов затрудняют переработку на ситах рассевов и процессы просеивания. Связи в клетках между алейроновым и субалейроновым слоями у твердозерной пшеницы гораздо прочнее, отделение отрубей затруднено, из-за чего длительность вымольного процесса выше, однако продолжительность отволаживания меньше по сравнению с мягкозерными пшеницами. Твердозерные пшеницы вымалываются значительно лучше, производя крупитчатую муку. В драном процессе у таких пшениц извлечение крупок и дунстов в 1,6–1,8 раз выше, а муки – меньше [3]. Структурно-механические различия твердозерных и мягкозерных сортов пшеницы необходимо принимать во внимание на мукомольных заводах при составлении помольных партий. Сведения о твердозерности полезны и при выборе технологических параметров измельчения зерна (например, оптимальные режимы гидротермической обработки), рекомендовано перерабатывать компоненты помольных партий изолированно друг от друга.

Мягкозерная пшеница предпочтительна для выработки муки в индустрии мучнистых кондитерских изделий. Такая мука обладает низкими значениями содержания белка и водопоглотительной способностью. Мягкозерные сорта пшеницы также называют бисквитными. Приоритеты последних десятилетий в странах СНГ сложились таким образом, что аграрный рынок ориентирован на селекцию пшеницы сильной или ценной в ущерб мягкозерной. Отсутствие в нормативной документации СНГ подкатегории мягкозерной (бисквитной) в категории мягкой пшеницы усугубляет несовершенство классификации зерна. Мука из твердозерных пшениц характеризуется большими размерами частиц, щелочеводаудерживающей способностью, водопоглощением из-за большей степени повреждения крахмала, сравнительно меньшими значениями белизны, большей длительностью периода образования теста при замесе, большими значениями седиментации. Мука из мягкозерных пшениц с клейковиной средней силы не нуждается в смешивании с более сильной

или ценной при производстве печенья, пирогов, крекеров. Такая мука, с невысоким содержанием белка (менее 9,5 %), лучше подходит для производства бисквитов и кексов. Муку с большим содержанием белка рациональнее использовать для производства хлебобулочных изделий. Мука, произведенная из зерна с высокой стекловидностью, обычно характеризуется повышенным содержанием клейковины, что обуславливает реологические свойства теста, делая его более упругим и малорастяжимым, непластичным, что затрудняет производство, к примеру, высококачественного печенья.

Кондитерское тесто представляет собой коллоидную систему из лиофильных веществ с мицеллярной структурой. Особенности структуры такой системы проявляются в неподчинении ее вязкости уравнению закона Ньютона (неньютоновская жидкость). Значения вязкости таких коллоидных систем тесно связаны с напряжением сдвига [4]. Весомый вклад в структурные особенности теста вносят лиофильность мицелл, их сольватные оболочки и формирующийся в ходе технологического процесса клейковинный остов. К реологическим характеристикам теста относят вязкость, упругость, эластичность. Так, эластичность клейковины является причиной стремления тестовой массы возвращаться к начальному состоянию до деформации при прекращении деформирующего усилия [5]. Консистенцию теста часто описывают следующими терминами: рассыпчатая, затяжная, незатяжная, эластичная, жесткая и т. п. Эти термины субъективны, поэтому для повышения объективности оценки качества дисперсных систем, таких как тесто для сахарного и затяжного печенья, целесообразно определять различные структурно-механические свойства, например, основанные на усилиях по перемещению полуфабриката, его формованию и пр. На основе этого рационально обосновывать оптимальные технологические режимы производства, проводить их мониторинг и регулирование, обеспечивающие стабильность качества изделий [6]. Основными показателями, описывающими консистенцию мучного теста, являются предельное напряжение сдвига и вязкость теста [1].

Интенсивность структурных изменений в тесте зависит от различных причин: продолжительности замеса и отлежки теста, его температуры и влажности, а также гидрофильных свойств компонентов теста [7]. Максимальный удельный вес в тесте для кондитерских изделий составляет мука, которая характеризуется различиями своих гидрофильных свойств в зависимости от твердозерности пшеницы [3].

Цель работы – изучить особенности формирования структурно-механических свойств полуфабрикатов и готовой продукции – сахарного и затяжного печенья – в зависимости от технологических параметров приготовления теста и свойств муки, варьирующихся при выборе пшеницы разной твердозерности.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования послужили образцы зерна мягких сортов пшеницы, мука, выработанная из них, образцы теста для сахарного и затяжного печенья, а также готовые изделия.

Среди 60 изученных образцов зерна пшеницы по результатам гранулометрического анализа представлены: сверхтвердозерные – 32 % образцов, высокотвердозерные – 19 %, средней твердозерности – 31 %, ниже средней твердозерности – 22 %, мягкозерные – 6 %.

Оценку твердозерности пшеницы проводили гранулометрическим способом по индексу размера частиц [8]. Индекс размера частиц представляет собой количество измельченного продукта, размер частиц которого меньше 80 мкм, т. е. проход сита № 008 [9]. Показатель выражается в процентах по отношению к массе анализируемой пробы продукта. По показателю индекса размера частиц принята следующая классификация пшениц по твердозерности: сверхтвердозерная – 5–11 %, высокотвердозерная – 12–17 %, средней твердозерности – 18–21 %, ниже средней твердозерности – 22–26 %, мягкозерная – выше 26 % [10].

Зерновые помолы производили на установке Labor Muszeripari Muek QC-109 (Венгрия) с выходом муки 70 %. Тесто для сахарного печенья получали по рецептуре печенья «Юбилейное» с влажностью $4,5 \pm 1,5$ %, для затяжного печенья – по рецептуре печенья «Крокет» с влажностью $7,0 \pm 1,0$ %.

Исследования реологических свойств теста – вязкости и напряжения сдвига тестовых масс – проводились на ротационном вискозиметре Реотест-2 (Mettingen, Германия). Консистенция печенья определялась с помощью пенетрометра, измерялась в ед. прибора.

Для анализа структурно-механических свойств готового печенья оценивали степень деформации, производимой дозированными усилиями (нагрузкой). Для оценки влияния твердозерности сырья на структуру печенья определяли прочностные характеристики изделий на структурометре СТ-2 (ООО «Лаборатория качества», Россия). Индентором служила пластина из нержавеющей стали.

С помощью амилографа Brabender (ООО «БрабENDER», Россия), который позволяет определять гра-

диент вязкости жидкости при повышении температуры на каждый 1 °С оценивали изменения вязкости водно-мучной суспензии при нагревании. Важными характеристиками амилограмм образцов являются показатели максимальной вязкости до начальной точки клейстеризации, длительность этого состояния смеси [11]. Амилолитическая активность муки определяется количеством ферментов, атакуемости ими крахмальных зерен, что в свою очередь зависит от их количества, степени разрушения [12]. Разрушенные зерна крахмала в большей степени подвержены атакуемости ферментами [13].

Результаты и их обсуждение

На формирование реологических свойств теста в наибольшей степени оказывают влияние время замеса теста, его температура и влажность, а также технологические качества используемой муки [14].

В ходе экспериментов оценивали влияние продолжительности замеса теста для сахарного печенья на необходимое для деформации напряжение сдвига (η) [15]. Длительное механическое воздействие на тесто в процессе замеса приводило к увеличению предельного напряжения сдвига для муки из всех диапазонов твердозерности пшеницы (табл. 1). Вязкость теста с увеличением времени замеса планомерно возрастала. Тенденция к снижению пластичных свойств теста при увеличении продолжительности замеса с 5 до 25 мин сильнее проявляется при использовании муки из менее твердозерной пшеницы. Напряжение сдвига (η) возрастало на 68 % для мягкозерной пшеницы, для сверхтвердозерной – на 60 %.

С увеличением температуры теста его вязкость также возрастала (табл. 2). Тенденция к снижению пластичных свойств теста при повышении его температуры сильнее проявлялась для муки из менее твердозерной пшеницы. Напряжение сдвига возрастало на 34 % для мягкозерной пшеницы, для сверхтвердозерной – на 19 %.

При повышении влажности теста его вязкость также возрастала. Напряжение сдвига и вязкость теста изменялись сразу после замеса теста в течение 10 мин при частоте вращения лопастей 15 об/мин, температура

Таблица 1. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от продолжительности замеса теста с влажностью 20 % из пшеницы различной твердозерности при 22 °С и скорости вращения лопастей 15 об/мин (для сахарного печенья)

Table 1. Effect of kneading time on shear stress, 10^{-1} Pa, of sugar cookie dough with different grain hardness: 20% moisture content, 22°C, 15 rpm blade rotation

Продолжительность замеса теста, мин	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
5	261	308	332	354	359
10	282	329	352	374	392
15	325	367	398	435	482
20	567	598	672	724	729
25	825	852	876	892	902

Таблица 2. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от температуры теста с влажностью 20 % из пшеницы различной твердозерности при скорости вращения лопастей 15 об/мин в течение 10 мин (для сахарного печенья)Table 2. Effect of temperature on shear stress, 10^{-1} Pa, of sugar cookie dough with different grain hardness during kneading: 10 min, 15 rpm blade rotation

Температура теста, °C	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокоотвердозерная	Сверхтвердозерная
18	281	328	350	372	395
19	312	348	395	410	435
20	342	398	418	432	462
21	378	422	443	465	478
22	402	450	469	473	488
23	427	472	478	489	492
24	468	496	503	523	547

Таблица 3. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от влажности теста из пшеницы различной твердозерности (для сахарного печенья)Table 3. Effect of moisture content on shear stress, 10^{-1} Pa, of sugar cookie dough with different grain hardness

Влажность теста, %	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокоотвердозерная	Сверхтвердозерная
18	153	194	254	268	275
19	207	236	297	313	307
20	281	328	350	372	395
21	328	362	395	403	428
22	359	401	426	438	483

Таблица 4. Результаты регрессионного анализа зависимости качества теста от технологических параметров производства (для сахарного печенья)

Table 4. Effect of technological parameters on sugar cookie dough quality: regression analysis

Пшеница	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)	Коэффициент детерминации (r^2)
Мягкозерная	$Y = -0,2191 \cdot X_1^2 + 0,0166 \cdot X_2^2 - 0,9625 \cdot X_1 \cdot X_2 + 47,2054 \cdot X_1 + 27,2243 \cdot X_2 - 643,2503$	0,53	0,29
Ниже средней твердозерности	$Y = 0,2334 \cdot X_1^2 + 0,0362 \cdot X_2^2 - 1,265 \cdot X_1 \cdot X_2 + 38,3238 \cdot X_1 + 32,0545 \cdot X_2 - 606,8448$	0,63	0,40
Среднетвердозерная	$Y = 0,6129 \cdot X_1^2 + 0,0602 \cdot X_2^2 - 0,9624 \cdot X_1 \cdot X_2 + 18,9913 \cdot X_1 + 25,8932 \cdot X_2 - 371,2764$	0,45	0,20
Высокоотвердозерная	$Y = 0,7512 \cdot X_1^2 + 0,0435 \cdot X_2^2 - 0,9675 \cdot X_1 \cdot X_2 + 15,0189 \cdot X_1 + 27,2686 \cdot X_2 - 319,5303$	0,47	0,22
Сверхтвердозерная	$Y = 0,8802 \cdot X_1^2 + 0,0389 \cdot X_2^2 - 0,7925 \cdot X_1 \cdot X_2 + 7,4987 \cdot X_1 + 24,3723 \cdot X_2 - 197,1002$	0,46	0,21

Примечание: X_1 – влажность теста, %; X_2 – температура теста, °C; Y – вязкость теста, Па·с.Note: X_1 – dough humidity, %; X_2 – dough temperature, °C; Y – dough viscosity, Pa·s.

теста достигала 22 °C (табл. 3). Поверхность отклика показателя вязкости теста – почти плоская, с возрастающими значениями при повышении влажности и температуры теста (табл. 4).

Определяли степень влияния интенсивности замеса теста для сахарного печенья на его вязкость и напряжение сдвига. Кривые напряжения сдвига теста отражали скорость развития упругих деформаций (эластичность) теста. Измерения проводили для теста

с влажностью 20 % при температуре 22 °C в течение 10 мин замеса при частоте вращения лопастей 15 об/мин. Наиболее рационально для описания связи напряжения (η) от скорости сдвига (γ) использовать степенные функции (рис. 1, 2). Опыты на ротационном вискозиметре позволили получить следующие результаты: для мягкозерной пшеницы $\eta = 127 \cdot \gamma^{0,376}$ ($R^2 = 0,982$), для пшеницы с твердозерностью ниже средней $\eta = 324 \cdot \gamma^{0,392}$ ($R^2 = 0,985$), для среднетвердозерной пшеницы

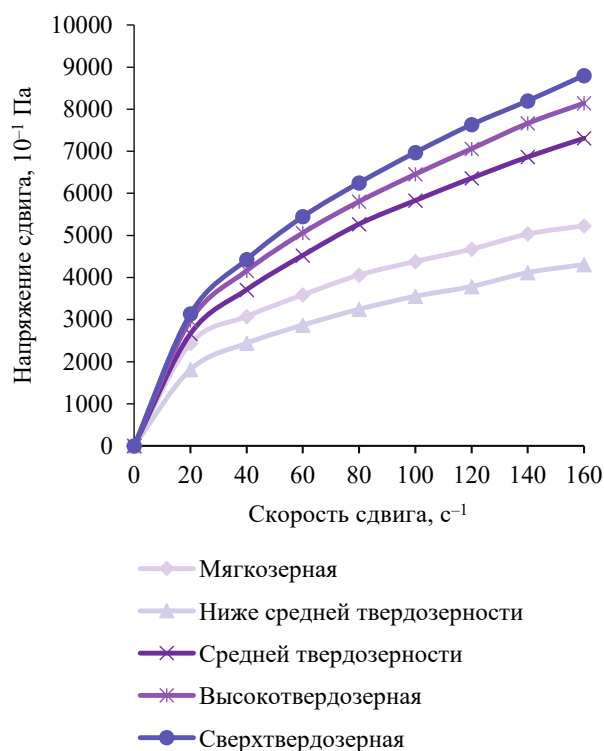


Рисунок 1. Зависимость напряжения сдвига от скорости деформации теста из пшеницы различной твердозерности (для сахарного печенья)

Figure 1. Effect of deformation rate on shear stress in sugar cookie dough with different wheat grain hardness

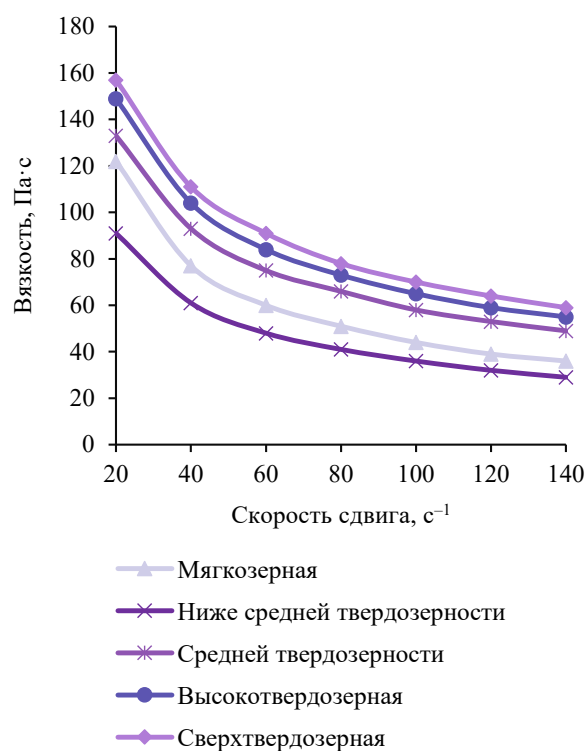


Рисунок 2. Зависимость вязкости от скорости деформации теста из пшеницы различной твердозерности (для сахарного печенья)

Figure 2. Effect of deformation rate on viscosity in sugar cookie dough with different wheat grain hardness

Таблица 5. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от продолжительности замеса теста с влажностью 22 % из пшеницы различной твердозерности при 35 °C и частоте вращения лопастей 150 об/мин (для затыжного печенья)

Table 5. Effect of kneading time on shear stress, 10^{-1} Pa, in hard cookie dough with different grain hardness: 22% moisture content, 35°C, 150 rpm blade rotation

Продолжительность замеса теста, мин	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
10	2342	3125	5124	5754	6345
20	2134	2987	4523	5232	5652
30	1987	2265	3985	4523	4825
40	1563	1864	3025	3250	3542
50	1245	1465	2678	2754	3254
60	1985	2154	5678	6785	7525
70	2845	3252	7585	8542	10254
80	3852	5247	10257	10985	12588

$\eta = 473 \cdot \gamma^{0,402}$ ($R^2 = 0,975$), для высокотвердозерной пшеницы $\eta = 682 \cdot \gamma^{0,412}$ ($R^2 = 0,984$), для сверхтвердозерной пшеницы $\eta = 725 \cdot \gamma^{0,437}$ ($R^2 = 0,992$).

В следующей серии опытов изучали реологические свойства теста для затыжного печенья, варьируя технологические параметры тестопротравливания. С повышением продолжительности замеса теста его вязкость сначала снижалась, что проявлялось в уменьшении напряжения сдвига, а затем возрастала (табл. 5). С увеличением длительности выдержки теста

после замеса наблюдалось возрастание его вязкости (табл. 6). Затем изменяли влажность теста от 25 до 35 % при 35 °C в течение 20 мин замеса и частоте вращения лопастей 150 об/мин. Вязкость затыжного теста снижалась с увеличением влажности (табл. 7). Также изучали зависимость вязкости и напряжения сдвига теста для затыжного печенья от частоты замеса в условиях варьирующихся температур (табл. 8).

С увеличением твердозерности возрастали прочностные свойства изделий, значительно увеличивалась

жесткость образцов, ухудшалось важное потребительское свойство продукции – хрупкость, оцененная с помощью структурометра СТ-2 (рис. 3, 4). Наибольшая плотность консистенции сахарного печенья зафикс-

сирована у образцов из сверхтвердозерной пшеницы. Наилучшее качество структуры сахарного и затяжного печенья обеспечивала пшеница мягкозерная и с твердозерностью ниже средней.

Таблица 6. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от продолжительности выдержки теста с влажностью 25 % из пшеницы различной твердозерности после замеса при 35 °С, время замеса 20 мин при частоте вращения лопастей 150 об/мин (для затяжного печенья)

Table 6. Effect of exposure time on shear stress, 10^{-1} Pa, in hard cookie dough with different grain hardness: 20 min kneading time, 25% moisture content, 35°C, 150 rpm blade rotation

Продолжительность выдержки теста, мин	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
0	2810	3380	3600	3720	4120
10	3120	3480	3950	4100	4350
20	3420	3980	4180	4320	4620
30	3780	4220	4430	4650	4780
40	4020	4500	4690	4730	4880
50	4270	4720	4780	4890	4920

Таблица 7. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от влажности теста из пшеницы различной твердозерности при 35 °С и частоте вращения лопастей 150 об/мин (для затяжного печенья)

Table 7. Effect of moisture content on shear stress, 10^{-1} Pa, in hard cookie dough with different grain hardness: 35°C, 150 rpm blade rotation

Влажность теста, %	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
25	2452	3243	5272	5862	6282
26	2125	2254	2855	3122	4525
27	1520	1658	1902	2125	2985
28	1020	1125	1345	1520	2586
29	587	756	1257	1452	1785
30	452	647	1024	1245	1567
31	402	603	987	1187	1487
32	358	583	923	1102	1403
33	325	524	895	1038	1367
34	302	497	843	983	1286
35	295	456	802	952	1196

Таблица 8. Зависимость напряжения сдвига, 10^{-1} Па, от скорости деформации теста с влажностью 22 % из пшеницы различной твердозерности при 35 °С (для затяжного печенья)

Table 8. Effect of deformation rate on shear stress, 10^{-1} Pa, in hard cookie dough with different grain hardness: 22% moisture content, 35°C

Скорость деформации (сдвига) γ , с $^{-1}$	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
0,1667	332	364	389	404	431
0,3	409	474	519	537	573
0,3333	429	491	539	568	604
0,6	541	624	723	761	813
1	655	772	926	980	1040
1,8	824	982	1225	1310	1396
3	1004	1218	1569	1698	1798
5,4	1340	1643	2142	2346	2489
9	1585	1975	2689	2952	3173
16,2	1964	2505	3606	3961	4275
27	2384	3093	4665	5108	5458
48,6	2993	3902	6143	6784	7304
81	3620	4846	7848	8787	9384

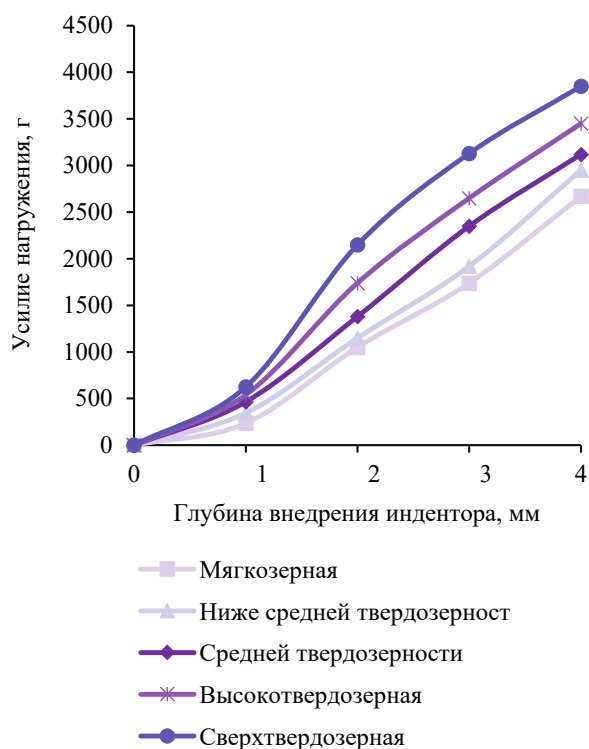


Рисунок 3. Зависимость глубины внедрения индентора от усилия нагружения в образцах сахарного печенья из пшеницы различной твердозерности

Figure 3. Effect of loading force on indenter penetration in sugar cookies with wheat grain hardness

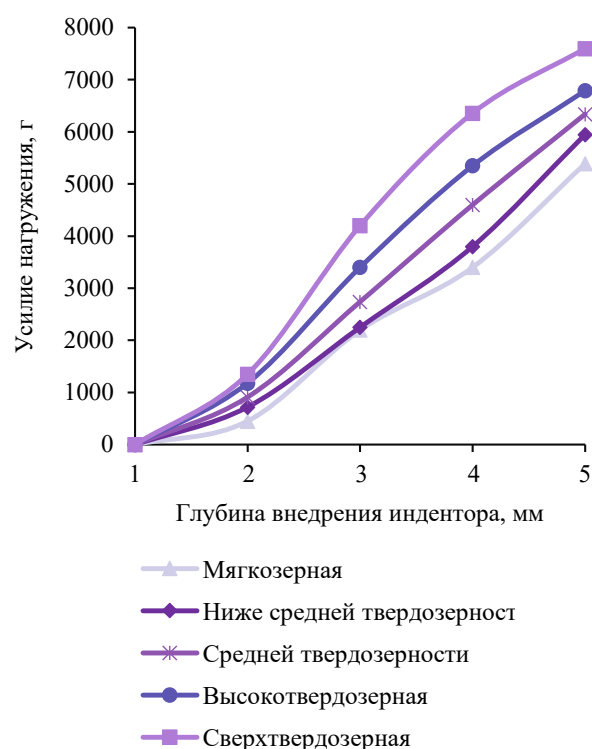


Рисунок 4. Зависимость глубины внедрения индентора от усилия нагружения в образцах затыжного печенья из пшеницы различной твердозерности

Figure 4. Effect of loading force on indenter penetration in hard-dough cookies with wheat grain hardness

Таблица 9. Амилографические характеристики муки из пшеницы различной твердозерности

Table 9. Amylographic profile of flour with different wheat grain hardness

Показатель	Мягкозерная	Ниже средней твердозерности	Среднетвердозерная	Высокотвердозерная	Сверхтвердозерная
Температура клейстеризации начальная, °C	55,8 ± 0,5	59,6 ± 0,5	62,4 ± 0,5	65,7 ± 0,5	68,2 ± 0,5
Максимальная высота амилограмм, ЕА	238 ± 20	426 ± 20	536 ± 20	676 ± 20	849 ± 20
Температура пика вязкости, °C	68,3 ± 0,5	74,8 ± 0,5	77,6 ± 0,5	83,1 ± 0,5	87,9 ± 0,5

Исследования образцов муки проводили также с использованием амилографа. Кривые вязкости суспензий из муки более твердозерной пшеницы имеют большую крутизну снижения. Для муки из высоко- и сверхтвердозерных пшениц характерно ускоренное снижение кривых графиков амилограмм после прохождения верхней точки, что говорит о большей скорости разрушения водородных связей в молекулах амилозы и амилопектина в результате гидролиза. Результаты обработки кривых графиков амилограмм представлены в таблице 9.

Технологические свойства сахарного печенья формируются под воздействием различных факторов

(режимов) производства, в первую очередь важны влажность, продолжительность и температура замеса [16]. Готовить такое тесто предпочтительно, однако следует учитывать, что на выбор оптимальной влажности теста влияет водопоглощительная способность используемого мучного сырья [17]. Оптимальные значения параметров замеса для образцов каждой из пяти групп, обеспечивающих наилучшие значения намокаемости и консистенции изделий, находили по твердозерности пшеницы [18]. Выявленные оптимальные характеристики замеса обеспечивают получение теста из используемого сырья с лучшими из возможных технологических свойств. Влажность теста сахар-

ного печенья должна составлять от 16,5 до 18,5 %. Увеличение влажности ведет к формированию упругих свойств, эластичности, при этом пластичность теста снижается. Температуру замеса поддерживают на уровне от 17 до 25 °С. Использование более высоких температур позволяет сделать тесто упруго-вязкопластичным, что негативно сказывается на качестве сахарного печенья и позитивно – затяжного. Другой фактор, влияющий на реологические свойства теста, – продолжительность замеса [19]. Пластичные свойства теста обеспечиваются минимальным механическим воздействием на него. Сокращением времени взаимодействия муки с водой можно замедлить набухание клейковины, что в конечном итоге будет способствовать формированию пластичного сахарного теста [20].

По традиционной технологии приготовления время замеса теста для сахарного печенья составляет от 3 до 10 мин. В экспериментах влажность теста находилась в пределах 13,5–18,5 %, устанавливали постоянную скорость перемешивания 50 об/мин. Из всех параметров производства печенья наибольшее удобство для технолога представляет варьирование температуры и продолжительности замеса теста. В процессе тестоприготовления возможна гибкая корректировка технологических свойств полуфабрикатов, а значит и качества готовой продукции. За факторы, влияющие на качество тестовых масс, принимали влажность теста X_1 , %, и время замеса X_2 , с (табл. 10). Факторы не коррелируют между собой, а значит совместимы. Критериями оценки влияния условий тестоприготовления послужили намокаемость готовых изделий Y_1 , % и их консистенция Y_2 , ед. прибора.

Показатель намокаемости готовых изделий Y_1 варьировался в диапазоне 140–230 %, консистенция изделий Y_2 – 12–28 ед. прибора.

Использование позиционного ротатбельного планирования позволило произвести оптимизацию экс-

периментов за счет расположенных в матрице плана опытов в особом порядке «звездных» точек [21]. На основе выбранных факторов и показателей качества для образцов из мягкозерной пшеницы составлена матрица планирования эксперимента (табл. 11). Такие же матрицы составлены для других образцов пшеницы различной твердозерности. По результатам статистической обработки данных экспериментов составлены соответствующие регрессионные уравнения формирования качества изделий под воздействием изучаемых факторов (табл. 12). Значимость коэффициентов регрессии и адекватность уравнений подтверждены статистическими критериями Стьюдента, Фишера.

В результате решения задачи оптимизации на основе построенных уравнений регрессии установили рекомендуемые параметры влажности теста и продолжительности его замеса индивидуальные для каждого вида зерна:

– для муки из сверхтвердозерной пшеницы: влажность теста – $13,5 \pm 0,5$ %, продолжительность замеса – 178 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 155 ± 1 % и консистенцией изделий $17,4 \pm 0,3$ ед. прибора;

Таблица 10. Пределы варьирования факторов для сахарного печенья

Table 10. Factor variation limits in sugar cookies

Уровни планирования	X_1 , %	X_2 , с
Основной уровень (0)	16	390
Нижний уровень (–1)	13,5	180
Верхний уровень (+1)	18,5	600
Интервал варьирования	2,5	210
Нижняя звездная точка (–1,41)	12,475	93,9
Верхняя звездная точка (+1,41)	19,525	686,1

Таблица 11. Матрица планирования серии экспериментов для образцов теста из мягкозерной пшеницы

Table 11. Experimental matrix for soft wheat dough samples

Опыты	№	X_1	X_2	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2	X_1 , %	X_2 , с	Y_1 , %	Y_2 , ед. прибора	Y_1 , %	Y_2 , ед. прибора
ПФЭ	1	–1	–1	+1	1	1	13,5	180	191	24	188	23
	2	+1	–1	–1	1	1	18,5	180	201	26	198	26
	3	–1	+1	–1	1	1	13,5	600	193	19	191	18
	4	+1	+1	+1	1	1	18,5	600	225	24	223	23
В «звездных» точках	5	–1,41	0	0	2	0	12,475	390	162	16	159	15
	6	+1,41	0	0	2	0	19,525	390	175	21	174	21
	7	0	–1,41	0	0	2	16	93,9	154	21	153	21
	8	0	+1,41	0	0	2	16	686,1	159	19	156	19
В центре плана	9	0	0	0	0	0	16	390	198	23	197	23
	10	0	0	0	0	0	16	390	191	24	190	24
	11	0	0	0	0	0	16	390	190	22	189	21
	12	0	0	0	0	0	16	390	189	21	186	21
	13	0	0	0	0	0	16	390	187	22	186	21

Таблица 12. Результаты регрессионного анализа зависимости качества сахарного печенья от влажности теста и продолжительности замеса

Table 12. Effect of dough moisture and kneading time on sugar cookie quality: regression analysis

Пшеница	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)	Коэффициент детерминации (r^2)	Критерий Фишера (F)	
				теоретический	фактический
Мягкозерная	$Y_1 = 0,7176 \cdot X_1^2 - 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0105 \cdot X_1 \cdot X_2 + 21,9041 \cdot X_1 + 0,0382 \cdot X_2 - 13,2119$	0,523	0,274	2,67	29,5
Ниже средней твердозерности	$Y_1 = -0,7887 \cdot X_1^2 - 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0104 \cdot X_1 \cdot X_2 + 24,0075 \cdot X_1 + 0,0428 \cdot X_2 - 31,7919$	0,653	0,426	3,06	17,9
Среднетвердозерная	$Y_1 = -0,3708 \cdot X_1^2 - 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0133 \cdot X_1 \cdot X_2 + 9,4906 \cdot X_1 - 0,037 \cdot X_2 + 97,5371$	0,425	0,181	2,67	7,0
Высокотвердозерная	$Y_1 = -0,3824 \cdot X_1^2 - 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0105 \cdot X_1 \cdot X_2 + 10,7449 \cdot X_1 - 0,014 \cdot X_2 + 65,0426$	0,427	0,182	2,67	6,4
Сверхтвердозерная	$Y_1 = -0,2662 \cdot X_1^2 - 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0114 \cdot X_1 \cdot X_2 + 6,685 \cdot X_1 - 0,0109 \cdot X_2 + 80,3022$	0,436	0,19	2,67	12,4
Мягкозерная	$Y_2 = -0,1965 \cdot X_1^2 - 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0014 \cdot X_1 \cdot X_2 + 6,4341 \cdot X_1 - 0,0203 \cdot X_2 - 29,0461$	0,463	0,214	2,67	29,5
Ниже средней твердозерности	$Y_2 = -0,1769 \cdot X_1^2 - 0,00002 \cdot X_2^2 + 0,0015 \cdot X_1 \cdot X_2 + 5,7387 \cdot X_1 - 0,0217 \cdot X_2 - 23,8193$	0,521	0,271	3,06	17,9
Среднетвердозерная	$Y_2 = -0,1431 \cdot X_1^2 + 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0012 \cdot X_1 \cdot X_2 + 4,7623 \cdot X_1 - 0,0245 \cdot X_2 - 14,5399$	0,579	0,335	2,67	7,0
Высокотвердозерная	$Y_2 = -0,0989 \cdot X_1^2 + 0,0002 \cdot X_2^2 + 0,0005 \cdot X_1 \cdot X_2 + 3,5534 \cdot X_1 - 0,0256 \cdot X_2 - 8,7319$	0,436	0,19	2,67	6,4
Сверхтвердозерная	$Y_2 = -0,0024 \cdot X_1^2 + 0,0002 \cdot X_2^2 - 0,0005 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,7357 \cdot X_1 - 0,0033 \cdot X_2 + 6,0518$	0,438	0,192	2,67	12,4

Примечание: X_1 – влажность теста, %; X_2 – продолжительность замеса, с; Y_1 – намокаемость готовых изделий, %; Y_2 – консистенция изделий, ед. прибора.

Note: X_1 – dough moisture, %; X_2 – kneading time, s; Y_1 – moisture content in the finished product, %; Y_2 – consistency, unit.

– для муки из высокотвердозерной пшеницы: влажность теста – $15,2 \pm 0,5$ %, продолжительность замеса – 192 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 175 ± 1 % и консистенцией изделий $19,2 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из среднетвердозерной пшеницы: влажность теста – $16,2 \pm 0,5$ % и продолжительность замеса – 267 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью – 192 ± 1 % и консистенцией изделий – $24,3 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из пшеницы с твердозерностью ниже средней: влажность теста – $16,4 \pm 0,5$ % и продолжительность замеса – 354 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 205 ± 1 % и консистенцией изделий – $29,5 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из мягкозерной пшеницы: влажность теста – $17,0 \pm 0,5$ %, продолжительность замеса – 476 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 223 ± 1 % и консистенцией изделий – $38,2 \pm 0,3$ ед. прибора.

В другой серии экспериментов факторами, влияющими на качество тестовых масс, выбраны температура замеса X_1 , °С, и продолжительность замеса X_2 , с. Соответствующие регрессионные уравнения формирования качества изделий приведены в таблице 13.

В результате решения задачи оптимизации на основе построенных уравнений регрессии установили рекомендуемые параметры температуры и продолжительности замеса индивидуальные для каждого вида зерна:

– для муки из сверхтвердозерной пшеницы: температура замеса – $16,5 \pm 0,5$ °С, продолжительность замеса – 183 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 158 ± 1 % и консистенцией изделий $16,4 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из высокотвердой пшеницы: температура замеса – $17,5 \pm 0,5$ °С и продолжительность замеса – 242 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 172 ± 1 % и консистенцией изделий $18,7 \pm 0,3$ ед. прибора;

Таблица 13. Результаты регрессионного анализа зависимости качества сахарного печенья от температуры и продолжительности замеса теста

Table 13. Effect of temperature and kneading time on sugar cookie quality: regression analysis

Пшеница	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)	Коэффициент детерминации (r^2)	Критерий Фишера (F)	
				теоретический	фактический
Мягкозерная	$Y_1 = 0,0472 \cdot X_1^2 - 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0023 \cdot X_1 \cdot X_2 - 4,7412 \cdot X_1 - 0,077 \cdot X_2 + 287,2018$	0,523	0,274	2,67	9,5
Ниже средней твердозерности	$Y_1 = 0,1257 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0012 \cdot X_1 \cdot X_2 - 7,4929 \cdot X_1 - 0,0608 \cdot X_2 + 305,1304$	0,653	0,426	3,06	17,9
Среднетвердозерная	$Y_1 = -0,0629 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0002 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,1420 \cdot X_1 - 0,055 \cdot X_2 + 196,9401$	0,425	0,181	2,67	7,0
Высокотвердозерная	$Y_1 = 0,1572 \cdot X_1^2 + 0,0001 \cdot X_2^2 - 0,0003 \cdot X_1 \cdot X_2 - 7,2557 \cdot X_1 - 0,0775 \cdot X_2 + 265,7754$	0,427	0,182	2,67	6,4
Сверхтвердозерная	$Y_1 = -0,4087 \cdot X_1^2 - 0,0001 \cdot X_2^2 + 0,0123 \cdot X_1 \cdot X_2 + 11,9878 \cdot X_1 - 0,1715 \cdot X_2 + 64,6783$	0,436	0,19	2,67	12,4
Мягкозерная	$Y_2 = -0,4688 \cdot X_1^2 - 0,0433 \cdot X_2^2 + 0,0012 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,4688 \cdot X_1 - 0,0433 \cdot X_2 + 30,3538$	0,463	0,214	2,67	9,5
Ниже средней твердозерности	$Y_2 = 0,0157 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0012 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,4768 \cdot X_1 - 0,0462 \cdot X_2 + 29,7964$	0,521	0,271	3,06	17,9
Среднетвердозерная	$Y_2 = 0,0472 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 - 0,0002 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,3301 \cdot X_1 - 0,0299 \cdot X_2 + 32,5866$	0,579	0,335	2,67	7,0
Высокотвердозерная	$Y_2 = -0,0472 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0015 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,8710 \cdot X_1 - 0,0409 \cdot X_2 + 3,2368$	0,436	0,19	2,67	6,4
Сверхтвердозерная	$Y_2 = 0,0786 \cdot X_1^2 + 0,00001 \cdot X_2^2 + 0,0006 \cdot X_1 \cdot X_2 - 3,1686 \cdot X_1 - 0,0350 \cdot X_2 + 51,2997$	0,438	0,192	2,67	12,4

Примечание: X_1 – температура замеса, °C; X_2 – продолжительность замеса, с; Y_1 – намокаемость готовых изделий, %; Y_2 – консистенция изделий, ед. прибора.

Note: X_1 – kneading temperature, °C; X_2 – kneading time, s; Y_1 – moisture content in the finished product, %; Y_2 – consistency, unit.

– для муки из среднетвердозерной пшеницы: температура замеса – $18,5 \pm 0,5$ °C и продолжительность замеса – 326 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 180 ± 1 % и консистенцией изделий $22,3 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из пшеницы с твердозерностью ниже средней: температура замеса – $20,5 \pm 0,5$ °C, продолжительность замеса – 397 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 204 ± 1 % и консистенцией изделий $30,4 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из мягкозерной пшеницы: температура замеса – $21,0 \pm 0,5$ °C и продолжительность замеса – 457 ± 5 с, чтобы получить печенье с намокаемостью 227 ± 1 % и консистенцией изделий $36,5 \pm 0,3$ ед. прибора.

За счет совместного влияния дозировок основных компонентов печенья изучали возможности управления качеством готовых изделий. За основу было взято печенье сахарное «Юбилейное», в рецептуре которого варьировали содержание сахара и жира. Из-

меняемыми факторами считали дозировку сахара – X_1 , и дозировку жира – X_2 . При снижении в рецептуре количества сахара компенсировали потерю сладости готовых изделий за счет соответствующего сахарозаменителя эритрита в соотношении 1:0,75 или сукралозы 1:600 [22]. По результатам экспериментов сформированы регрессионные уравнения изменения качества изделий (табл. 14).

В результате решения задачи оптимизации на основе построенных уравнений регрессии установили рекомендуемые дозировки сахара и жира индивидуальные для каждого вида зерна:

– для муки из сверхтвердозерной пшеницы: сахар – $19,2 \pm 0,3$ %, жир – $24,2 \pm 0,3$ %, чтобы получить печенье с намокаемостью 164 ± 1 % и консистенцией изделий $18,5 \pm 0,3$ ед. прибора;

– для муки из высокотвердозерной пшеницы: сахар – $11,7 \pm 0,3$ %, жир – $20,6 \pm 0,3$ %, чтобы получить печенье с намокаемостью 189 ± 1 % и консистенцией изделий $20,5 \pm 0,3$ ед. прибора;

- для муки из среднетвердозерной пшеницы: сахар – $8,5 \pm 0,3$ %, жир – $17,5 \pm 0,3$ %, чтобы получить печенье с намокаемостью 192 ± 1 % и консистенцией изделий $26,7 \pm 0,3$ ед. прибора;
- для муки из пшеницы с твердозерностью ниже средней: сахар – $7,6 \pm 0,3$ %, жир – $10,6 \pm 0,3$ %, чтобы получить печенье с намокаемостью 213 ± 1 % и консистенцией изделий $31,2 \pm 0,3$ ед. прибора;
- для муки из мягкозерной пшеницы: сахар – $5,2 \pm 0,3$ % и жир – $7,4 \pm 0,3$ %, чтобы получить печенье с намокаемостью 235 ± 1 % и консистенцией изделий $37,4 \pm 0,3$ ед. прибора.

Использование муки из пшеницы с высокими значениями твердозерности потребует увеличения количества воды, сахара и жира. Повышение содержания жира экономически нецелесообразно, поэтому при выборе оптимальной рецептуры изделий предпочтительнее варьировать содержание в тесте воды и сахара [23]. Необходимое количество влаги для замеса устанавливают экспериментально с учетом водопоглотительной способности мучного сырья. Использование пшеницы с низкими значениями твердозерности позволит уменьшить содержание сахара в рецептуре изделий, сделать их менее сахароемкими (разница может составлять до 30 % от общей массы изделия). Значения намокаемости сахарного и затяжного печенья из пшеницы ниже средней твердозерности максимальны, у печенья из сверхтвердозерной пшеницы – минимальны (различия составляют около 60 %).

Выводы

Результаты экспериментов показали, насколько технологические свойства теста для сахарного и затяжного печенья и готовой продукции чувствительны к изменению параметров производства.

Твердозерность пшеницы, послужившей сырьем для производства муки, оказывала существенное влияние на реологические свойства теста. Уменьшение предельного напряжения сдвига для теста из муки мягкозерных пшениц вызвано увеличением количества воды в тесте и утолщением прослоек жидкости в коллоидной системе. Уменьшение вязкости теста по мере снижения твердозерности используемой пшеницы говорит о разжижении коллоидной системы теста, что объясняется ослаблением прочности белковых структур при увеличении водопоглотительной способности сырья. Увеличение продолжительности замеса теста приводит к получению полуфабриката с более упруго-вязкими свойствами. Экспериментально доказано, что зависимость напряжения сдвига (η) тестовых масс сахарного печенья от скорости их деформации наиболее точно описывается степенными функциями.

Повышение температуры теста для сахарного печенья сопровождается снижением его эластичности, повышением вязкости. Например, для теста с влажностью 18 % при температуре 18 °C и скорости сдвига

15 с⁻¹ вязкость равна 165 Па·с, а при температуре 26 °C – 285 Па·с. Рост температуры приводит к повышению скорости формирования структуры теста, снижению его пластичности, ускорению набухания коллоидов. Увеличение влажности теста также приводит к повышению его степени вязкости, поскольку большее количество влаги при замесе ускоряет формирование коллоидных систем. Например, при температуре 18 °C, скорости сдвига 15 с⁻¹ и влажности теста 16 % его вязкость составляет 195 Па·с, а при влажности 20 % вязкость почти в 1,5 раза выше и составляет 295 Па·с.

Результаты измерения прочностных свойств готовых изделий показали, что использование муки из сверхтвердозерной пшеницы, в сравнении с мягкозерной, увеличивает жесткость сахарного печенья в среднем на 55–60 %, затяжного – 45–50 %.

Мука из более твердозерной пшеницы характеризуется большими значениями температур пика вязкости водно-мучной суспензии и начала ее клейстеризации, а также большей максимальной высотой амилограмм. Максимальная высота амилограммы для мягкозерной пшеницы составляет около 237 ед. амилографа, для сверхтвердозерной пшеницы – около 852 ед. амилографа.

Повышение влажности сахарного и затяжного печенья с ростом твердозерности пшеницы объясняется повышенной водосвязывающей способностью муки из такого зерна. Учет степени твердозерности пшеницы, из которой произведена мука, позволяет формировать новые рецептуры сахарного печенья, варьируя дозировки сахара и жира, для производства изделий с наилучшими потребительскими свойствами (критериями качества служили намокаемость готовых изделий и их консистенция).

Критерии авторства

П. В. Медведев – руководство проектом, редактирование и окончательное одобрение рукописи, В. А. Федотов – сбор и обработка материала, И. А. Бочкарева – вклад в концепцию и дизайн исследования, редактирование рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

P.V. Medvedev supervised the project and proofread the final version of the manuscript, V.A. Fedotov collected and processed the material, I.A. Bochkareva contributed to the concept and design, as well as proofread the manuscript.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Shabunina MV, Andreeva A, Pavlova AS. Use of animal origin protein concentrates in bread baking. *Foods and Raw Materials*. 2023;11(2):338–346. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-570>
2. Glyn BS, Davidson I. Biscuit, cookie and cracker process and recipes. Academic Press; 2020. 248 p.
3. Ibrahim GE, Bahgaat WK, Hussein AMS. Egyptian kishk as a fortificant: Impact on the quality of biscuit. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(1):164–173. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-164-173>
4. Hussein AMS, Abd El-Aal HA, Morsy NM, Hassona MM. Chemical, rheological, and sensory properties of wheat biscuits fortified with local buckwheat. *Foods and Raw Materials*. 2024;12(1):156–167. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-1-597>
5. Dubkova N, Kharkov V, Ziganshin B. Effect of mode amplitude on power consumption in vibrating mixer. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021;2:362–369. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54817-9_42
6. Kandrov RKh. Effects of triticale flour on the quality of honey cookies. *Foods and Raw Materials*. 2023;11(2):215–222. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-568>
7. Marjanović-Balaban Ž, Gojković Cvjetković V, Grujić R. Gliadin proteins from wheat flour: The optimal determination conditions by ELISA. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(2):364–370. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-364-370>
8. Akbar QA, Arif S, Yousaf S, Khurshid S, Sahar N. Effects of flour particle size on farinographic properties of wheat dough. *Sarhad Journal of Agriculture*. 2020;36(4):1136–1140. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2020/36.4.1136.1140>
9. Maslov AV, Biktagirova AI, Agzamova LI, Mingaleeva ZSh. Method application of generalized reduced gradient and fractional factor experiment in the composition optimization of the complex food additive for bread of increased nutritional value. *Food Industry*. 2021;6(3):5–14. (In Russ.) <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-1>
10. Liu N, Ma S, Li L, Wang X. Study on the effect of wheat bran dietary fiber on the rheological properties of dough. *Grain and Oil Science and Technology*. 2019;2(1):1–5. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2019.04.005>
11. Bar T, Zheng Y. Choosing certifiers: Evidence from the British retail consortium food safety standard. *American Journal of Agricultural Economics*. 2019;101(1):74–88. <https://doi.org/10.1093/ajae/aay024>
12. Abedi E, Pourmohammadi K. The effect of redox agents on conformation and structure characterization of gluten protein: An extensive review. *Food Science and Nutrition*. 2020;8(12):6301–6319. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1937>
13. Merker AA, Reva EN, Serdyuk VA. The influence of gluten-free flour on bakery dough quality. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(2):313–323. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.313-323>
14. Zhou J, Liu J, Tang X. Effects of whey and soy protein addition on bread rheological property of wheat flour. *Journal of Texture Studies*. 2018;49(1):38–46. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12275>
15. Simons CW, Hunt-Schmidt E, Simsek S, Hall C, Biswas A. Texturized pinto bean protein fortification in straight dough bread formulation. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2014;69:235–240. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0421-1>
16. Pang J, Guan E, Yang Y, Li M, Bian K. Effects of wheat flour particle size on flour physicochemical properties and steamed bread quality. *Food Science and Nutrition*. 2021;9(9):4691–4700. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2008>
17. Kotsiou K, Sacharidis D-D, Matsakidou A, Biliaderis CG, Lazaridou A. Impact of roasted yellow split pea flour on dough rheology and quality of fortified wheat breads. *Foods*. 2021;10(8):1832. <https://doi.org/10.3390/foods10081832>
18. Goikovich Tsvetkovich VS, Škuletić DM, Marjanović-Balaban ŽR, Vujadinović DP, Rajić DZ, *et al.* The effect on gliadin proteins of partial replacement of wheat flour in cupcakes with quinoa flour. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(1):82–92. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2490>
19. Lisina NL. Environmental regulations in Russian food security. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(1):193–201. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-193-201>
20. Ladnova OL, Koryachkina SYa, Koryachkin VP, Bolshakova LS. New technology of functional bakery products. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(3):576–590. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2458>
21. Shen Y, Hong S, Li Y. Pea protein composition, functionality, modification, and food applications: A review. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2022;101:71–127. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.02.002>
22. Koneva SI, Zakharova AS, Meleshkina LE, Egorova EYu, Mashkova IA. Technological properties of dough from a mix of rye and wheat flour with processed sea buckthorn. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(2):247–258. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2431>
23. Titorenko EYu, Trofimova NB, Ermolaeva EO, Trofimov IE, Breskin LI, *et al.* Developing new software for functional food production. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(4):905–914. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-905-914>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2555>
<https://elibrary.ru/NXBDFC>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Кинетические закономерности экстракции целевых компонентов из икорно-ястычного комплекса и его рафината



З. М. Арабова¹, А. Х.-Х. Нугманов^{2,*}, Д. М. Бородулин²,
И. Ю. Алексанян³, О. И. Коннова^{3,**}

¹ Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского Российской академии наук^{ROR},
Москва, Россия

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева^{ROR}, Москва, Россия

³ Астраханский государственный технический университет^{ROR}, Астрахань, Россия

Поступила в редакцию: 08.04.2024

Принята после рецензирования: 27.05.2024

Принята к публикации: 04.06.2024

*А. Х.-Х. Нугманов: nugmanov@rgau-msha.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>

**О. И. Коннова: okonnova88@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>

З. М. Арабова: <https://orcid.org/0000-0002-6787-7697>

Д. М. Бородулин: <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

И. Ю. Алексанян: <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>

© З. М. Арабова, А. Х.-Х. Нугманов, Д. М. Бородулин,
И. Ю. Алексанян, О. И. Коннова, 2025



Аннотация.

Икорно-ястычный комплекс составляет почти 20 % от всех получаемых рыбных отходов. Ввиду его высокой пищевой и биологической ценности из него получают белковые концентраты и фракционированный лецитин. К числу основных технологических операций, сложных по своей организации и аппаратурному обеспечению, следует отнести процессы экстракции исходного икорного сырья и рафината, что обусловило актуальность настоящего исследования. Цель – выявить кинетические закономерности процессов экстракции целевых компонентов из икорно-ястычного комплекса и его рафината, полученного после проведения первой ступени селективного экстрагирования.

Объекты исследования – содержимое ястыков толстолобика, сазана, судака и сома, их рафинат, а также ацетоновый и спиртовой экстракты. В качестве основных методов экспериментального исследования в работе применялись тензометрический, колориметрический и пикнометрический методы, для обработки полученных экспериментальных данных – методы математической статистики, для анализа полученных результатов – системный подход.

Исследование кинетических закономерностей процесса экстрагирования проводилось при атмосферном давлении, постоянной температуре в воздушном термостате, позволяющем поддерживать заданную температуру экстрагента, а также с использованием лабораторного шейкера для трех фиксированных вариантов его проведения. Установили, что продолжительность экстрагирования ацетоном сухой икры составила 45 мин, экстрагирования ацетоном нативной икры – 65 мин, продолжительность процесса экстрагирования спиртом икорного рафината – 35 мин.

Анализ данных скорости экстракции, полученных на основе экспериментальных кривых массопереноса, выявил, что продолжительность процесса можно сократить до рациональных значений. Присутствие на кинетических кривых характерных стадий массопереноса не входит в конфликт с известными положениями теории экстракции, поэтому полученные данные могут использоваться в инженерной практике.

Ключевые слова. Рыбная промышленность, частик, отходы, икра, концентрат, лецитин, экстракция, колориметрия, оптическая плотность, кинетика процесса

Для цитирования: Арабова З. М., Нугманов А. Х.-Х., Бородулин Д. М., Алексанян И. Ю., Коннова О. И. Кинетические закономерности экстракции целевых компонентов из икорно-ястычного комплекса и его рафината. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 74–88. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2555>

Extracting Target Components from Fresh and Refined Sac Roe: Kinetic Patterns



Zarema M. Arabova¹, Albert Kh.-Kh. Nugmanov^{2,*},
Dmitry M. Borodulin², Igor Yu. Aleksanyan³, Olga I. Konnova^{3,**}

¹ Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

³ Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Received: 08.04.2024

Revised: 27.05.2024

Accepted: 04.06.2024

*Albert Kh.-Kh. Nugmanov: nugmanov@rgau-msha.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>

**Olga I. Konnova: okonnova88@gmail.com,

<https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>

Zarema M. Arabova: <https://orcid.org/0000-0002-6787-7697>

Dmitry M. Borodulin: <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

Igor Yu. Aleksanyan: <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>

© Z.M. Arabova, A.Kh.-Kh. Nugmanov, D.M. Borodulin,
I.Yu. Aleksanyan, O.I. Konnova, 2025



Abstract.

Sac roe makes up 20% of all industrial fish waste. Due to its high nutritional and biological value, sac roe can be recycled into protein concentrates and fractionated lecithin. However, the extraction is a complex technological operation that requires sophisticated hardware. The article describes the kinetic patterns of the extraction processes of target components from sac roe and refined sac roe obtained after the first stage of selective extraction.

The study involved fresh and refined sac roe of silver carp, carp, pike perch, and catfish, as well as acetone and alcohol extracts. The main methods included tensometry, colorimetry, and pycnometry; the data obtained were subjected to mathematical statistics in line with the system approach.

The experiments involved an air thermostat with constant atmospheric pressure and temperature, as well as a laboratory shaker with three modes. The acetone extraction lasted 45 min for the dry sample and 65 min for the fresh sample, the alcohol extraction of the refined sample was 35 min.

The rate data analysis based on experimental mass transfer curves revealed that the extraction time could be rationalized to optimal values. The mass transfer stages on the kinetic curves did not contradict the extraction theory, which means that the obtained data can be used in engineering practice.

Keywords. Fishing industry, particle, waste, sac roe, concentrate, lecithin, extraction, colorimetry, optical density, kinetics

For citation: Arabova ZM, Nugmanov AKh-Kh, Borodulin DM, Aleksanyan IYu, Konnova OI. Extracting Target Components from Fresh and Refined Sac Roe: Kinetic Patterns. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):74–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2555>

Введение

Неориентированная реализация отходов, полученных вследствие переработки рыбного сырья, создает ряд проблем в рыбной отрасли. Ежедневно при производстве пресервов филе, фаршевой, консервированной и иных типов рыбных продуктов скапливаются тонны отходов материалов [1–3]. Целесообразность решения задач комплексной реализации водных ресурсов не вызывает сомнений, поскольку такой подход позволит не только снизить стоимость выработки традиционных типов обозначенных продуктов,

но существенно увеличить их ассортимент. Массовый и химический состав внутренних органов различных видов рыб подвержен определенным колебаниям. При этом содержание белков, полиненасыщенных жирных кислот, микро- и макроэлементов остается в таких отходных материалах на сравнительно высоком уровне, что делает актуальным дальнейший поиск путей их применения при производстве оригинальной пищевой биологически активной продукции [1, 4, 5]. Например, в химическом составе ястыков частиковых видов рыб Волго-Каспийского рыбохозяйственного

бассейна (толстолобик, щука, сазан и карась) и клариового сома содержание общего белка находится на уровне 20 %, содержание минеральных веществ – около 1,7 %, а липидная составляющая варьируется от 0,4 % у икры карася до 9,8 % у икры сазана [6]. Причем к высокожирным по химическому составу ястыкам, помимо сазана, авторы относят и содержание ястыков толстолобика и сома. Ястыки остальных видов рыб можно отнести к маложирным.

Таким образом, вторичное сырье, являющееся результатом промышленной переработки частиковых видов рыб, а именно икорно-ястычный комплекс (ИЯК), может широко использоваться для выработки различных пищевых продуктов, в том числе и функциональной направленности [3, 7–9].

Проведены предварительные исследования получения фракционированного лецитина и белкового текстурата из рыбного сырья (икра толстолобика, сазана, судака и сома) (патент № 2812352 С1 РФ) [1, 10, 11]. Выбор ИЯК рыб обосновывается тем, что на рыбоперерабатывающих предприятиях в полном объеме используются только ястыки щуки весеннего вылова, которые направляются на выпуск соленой, пробойной, пастеризованной икры. Икра других частиковых рыб, в частности толстолобика, сазана, судака и сома (данный вид частика находится на передовых позициях рыбопереработки среди подобного сырья [12]), перерабатывается в незначительных количествах, в основном из них изготавливают вяленые икорные продукты в синтетических оболочках [12]. Указанная продукция обладает низкой добавочной стоимостью и невысокими потребительскими свойствами [6]. Непереработанные ястыки вместе с другими частями тела (кожа, чешуя) направляются на выпуск кормовой продукции, следовательно, икра частиковых видов рыб является самым массовым недоиспользуемым рыбным вторичным сырьем.

Важный показатель при создании эмульсионных и пастообразных продуктов – содержание фосфатидилхолина в изучаемом частике, обладающем эмульгирующими свойствами [13–15]. Чтобы установить содержание этого соединения в икре изучаемых рыбных объектов, необходимо иметь данные по фракционному составу фосфолипидов, который ранее был определен и подробно представлен авторами [1]. Фракционный состав фосфолипидов икры исследуемых видов рыб включает содержание следующих веществ: фосфатидилхолин, фосфатидилэтаноламин, фосфатидилсерин, сфингомиелин и лизофосфатидилхолин [1, 16]. Фракционный состав фосфолипидов исследуемой икры характеризуется преобладающим содержанием фосфатидилхолина, массовая доля которого составляет 80–90 % в зависимости от вида рыбного объекта. Такие концентрации фосфолипида в составе липидов икры определяют высокие эмульгирующие способности сырья, что дает возможность рекомендовать его использование для получения лецитина.

Кратко опишем способ переработки ИЯК с целью получения из него фракционированного лецитина и белкового текстурата.

В качестве икорного сырья используют ястыки частиковых видов рыб: свежие, размороженные или высушенные. Ястыки пробивают механически, добавляют ацетон температурой не более 40 °С в соотношении 1:4, выдерживают до полного перехода экстрактивных веществ в экстракт, фильтруют и высушивают твердую фазу, которую затем экстрагируют этанолом при температуре 60 °С также до полного перехода экстрактивных веществ в экстракт. Полученную суспензию фильтруют и упаривают на ротационном испарителе. В концентрированный экстракт добавляют дистиллированную воду в соотношении 1:2, после чего смесь упаривают на ротационном испарителе до образования сгустка, который извлекают и сушат до пастообразного состояния, получая фракционированный лецитин. Отфильтрованную белковую массу спиртового экстракта высушивают конвективным способом, получая текстурат. Добавление дистиллированной воды способствует разрушению сольватных оболочек, образуемых молекулами этанола вокруг молекул растворенного вещества – лецитина (что приводит к резкому уменьшению его растворимости и более полному удалению этанола путем упаривания) [17–19].

Существует коммерческий интерес к получению полиненасыщенных жирных кислот, особенно в отношении эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой кислот (ДГК), поскольку эти ω -3 жирные кислоты потенциально полезны для профилактики различных заболеваний человека. Несмотря на то что соевые бобы и яичный желток являются основными коммерческими источниками лецитина, в соевом лецитине процент ненасыщенных жирных кислот присутствует на очень низком уровне по сравнению с насыщенными жирными кислотами. Кроме того, лецитин из соевых бобов не содержит ω -3 жирных кислот, ЭПК и ДГК, а фосфолипиды яичного желтка имеют относительно высокий уровень холестерина и неблагоприятный профиль жирных кислот, в отличие от рыбного лецитина. Лецитин, полученный из отходов переработки толстолобика, сазана, сома и судака, представляет собой липкое жирное вещество, состоящее в основном из смесей фосфолипидов, особенно фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина, с небольшим количеством глицеридов, нейтральных липидов и других взвешенных веществ. Следовательно, решение задачи эффективного производства рыбного фракционированного лецитина является актуальным с учетом использования в качестве фактически бросового сырья отходов рыбопереработки, что обуславливает заметное снижение себестоимости получаемого лецитина.

Технологическая схема производства фракционированного лецитина и белкового текстурата из рыбного вторичного сырья, разработанная на основании приведенных выше примеров, представлена на рисунке 1.

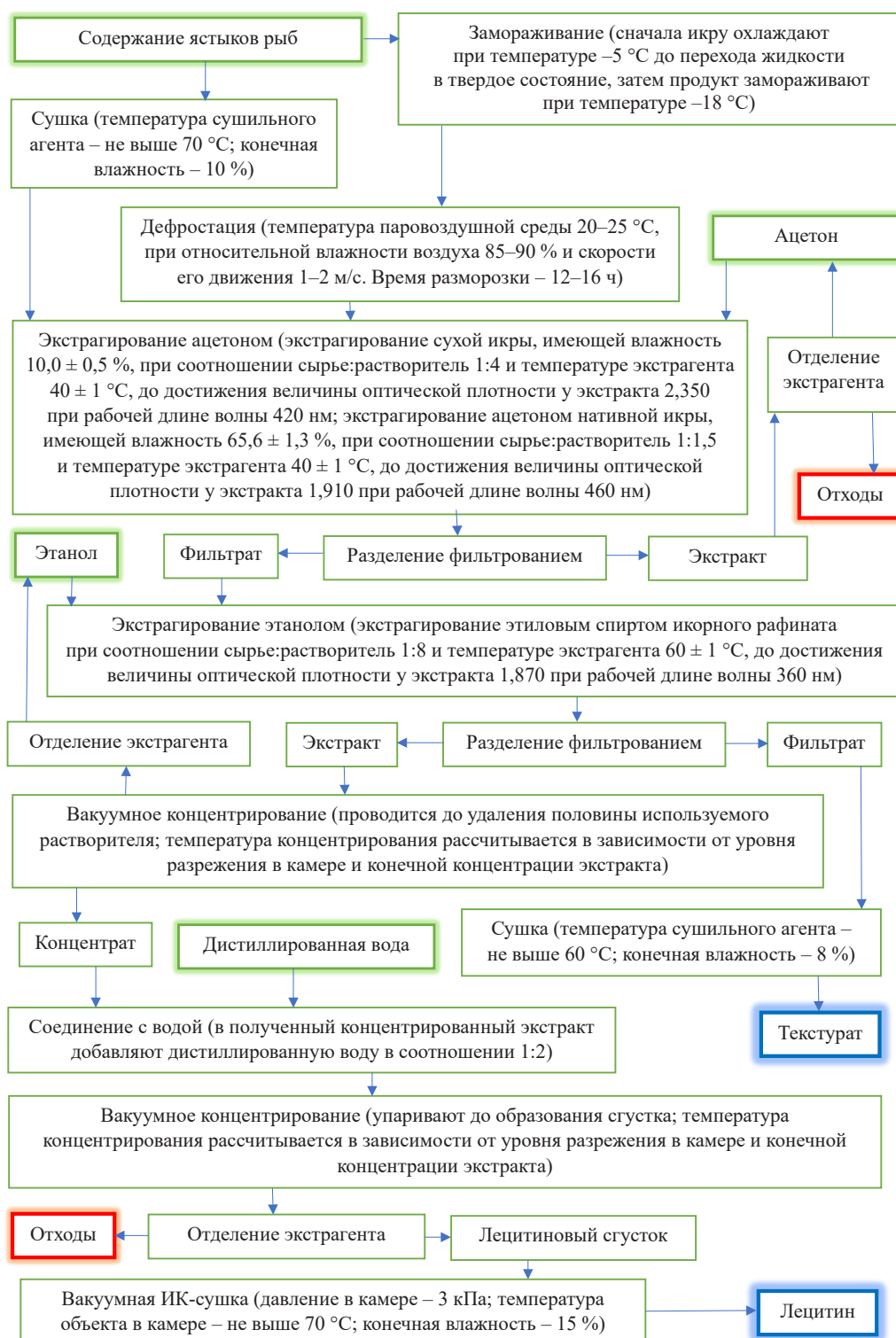


Рисунок 1. Технологическая схема производства фракционированного лецитина и белкового текстурата из рыбного вторичного сырья

Figure 1. Fractionated lecithin and protein texturate from secondary fish raw materials: production flow chart

К числу сложных и дорогостоящих по своей организации и аппаратному обеспечению основных технологических операций (рис. 1), отвечающих за качество и себестоимость конечной продукции, следует отнести,

помимо сушки, замораживания и дефростации, процессы экстракции исходного икорного сырья и рафината, получаемого после проведения первой ступени избирательного экстрагирования. Для нахождения

удельного выхода готовой продукции, продолжительности операции экстракции, выявления механизма массопереноса необходимы изучение и анализ кинетических закономерностей процессов экстракции из ИЯК и его рафината, получаемого после проведения первой ступени селективного экстрагирования [20–22].

Цель исследования – выявить кинетические закономерности процессов экстракции целевых компонентов из икорно-ястычного комплекса и его рафината, полученного после проведения первой ступени селективного экстрагирования.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования – икорно-ястычные комплексы (ИЯК) толстолобика, сазана, судака и сома, их рафинат, полученный после проведения первой ступени селективного экстрагирования, а также ацетоновые и спиртовой экстракты.

На начальном этапе исследования требовалось определить зависимость оптической плотности от концентрации изучаемых экстрактов. Последняя определялась тензометрическим методом с использованием прибора MX-50 (A&D Co., LTD, Япония), а именно удалением экстрагента под воздействием ИК-излучения при пятикратном дублировании опытов.

Для выявления кинетических закономерностей процесса экстракции лецитина из ИЯК и определения текущей концентрации экстракта реализован метод фотометрии при помощи фотометра B-1200 (Shanghai Mapada Instruments Co., Ltd., Китай) при пятикратном дублировании опытов. Данный прибор дает возможность быстро оценить скорость операции, ее зависимость от влияющих параметров с минимальной погрешностью.

Изучение кинетических закономерностей процесса экстрагирования проводилось при атмосферном давлении и при таком термическом режиме в воздушном термостате, который позволял поддерживать заданную температуру экстрагента. Также использовали лабораторный шейкер, благодаря чему взаимодействие между твердой и жидкой фазами в колбах осуществлялось в динамических условиях. Исследования проводились в трех различных вариантах:

- экстрагирование ацетоном сухой икры, имеющей влажность $10,0 \pm 0,5$ %, при соотношении сырье:растворитель 1:4 и температуре экстрагента 40 ± 1 °C проводилось до достижения величины оптической плотности у экстракта, близкой к 2,350 Б при рабочей длине волны 420 нм, что соответствует максимально возможной его концентрации – $10,36$ кг/м³;
- экстрагирование ацетоном нативной икры, имеющей влажность $65,6 \pm 1,3$ %, при соотношении сырье:растворитель 1:1,5 и температуре экстрагента 40 ± 1 °C проводилось до достижения величины оптической плотности у экстракта близкой к значению 1,910 Б при рабочей длине волны 460 нм, что соответствует максимально возможной его концентрации – $7,65$ кг/м³;

– экстрагирование этиловым спиртом икорного рафината при соотношении сырье:растворитель 1:8 и температуре экстрагента 60 ± 1 °C проводилось до достижения величины оптической плотности у экстракта, близкой к значению 1,870 (ед. измерения плотности) при рабочей длине волны 360 нм, что соответствует максимально возможной его концентрации – $7,68$ кг/м³.

Выбор экстрагента обусловлен нерастворимостью в ацетоне фосфатидилхолина: необходимо оставить его в исходном сырье. А извлечь из ИЯК – все растворимые в ацетоне вещества, при этом фосфатидные фракции – лишь частично. Выбор этилового спирта в качестве экстрагента на заключительном этапе реализации массообменных процессов обусловлен, прежде всего, его принадлежностью к пищевым материалам. К тому же, когда в рафинате минимально присутствуют все фосфатидные фракции, лецитин растворяется в нем лучше. При завершении экстрагирования спиртом рыбного рафината в экстракт добавляют дистиллированную воду, т. к. лецитин легко гидратируется с образованием эмульсий, что позволяет увеличить его выход.

Плотность получаемых в данном исследовании экстрактов определялась пикнометрическим способом, который дает приемлемую инженерную точность получаемых результатов, при этом прост и удобен в использовании.

Статистическая обработка экспериментальных данных (при пятикратной повторности экспериментов): составлялась таблица измерений, и определялось среднее значение измеряемой величины; определялись единичные отклонения, вычислялись квадраты отклонений, определялись средние квадратичные отклонения; определялись и исключались промахи из таблицы измерений; определялись средние квадратичные отклонения средней величины; определялся критерий Стьюдента при доверительной вероятности 0,95; вычислялись погрешности результатов измерений; определялись относительные погрешности.

Коэффициент линейной корреляции, необходимый для определения взаимосвязи между двумя характеристиками экстрактов, а именно экспериментально полученными величинами оптической плотности и концентрации экстрактов, рассчитывался при помощи программы для работы с электронными таблицами Excel.

Результаты и их обсуждение

Определены длины волн, соответствующие максимуму поглощения света икорным экстрактом. Построены кривые зависимости оптической плотности (D , Б) исследуемых экстрактов от длины волны (λ , нм) (рис. 2–4), а также оптической плотности от концентрации растворов (рис. 5).

Анализ экспериментальных данных значений D для исследуемых экстрактов от λ (рис. 2–4) показал наличие двух пиков значений D для экстрактов из сухой

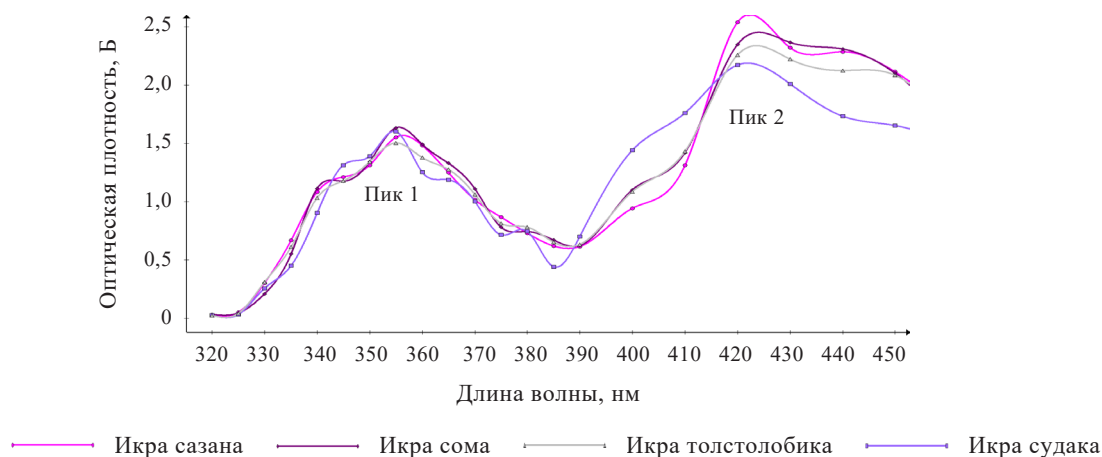


Рисунок 2. Зависимость оптической плотности ацетонового экстракта, полученного при взаимодействии сухой икры и ацетона (1:4), от длины волны

Figure 2. Effect of wavelength on optical density of acetone extract of dry sac roe (1:4)

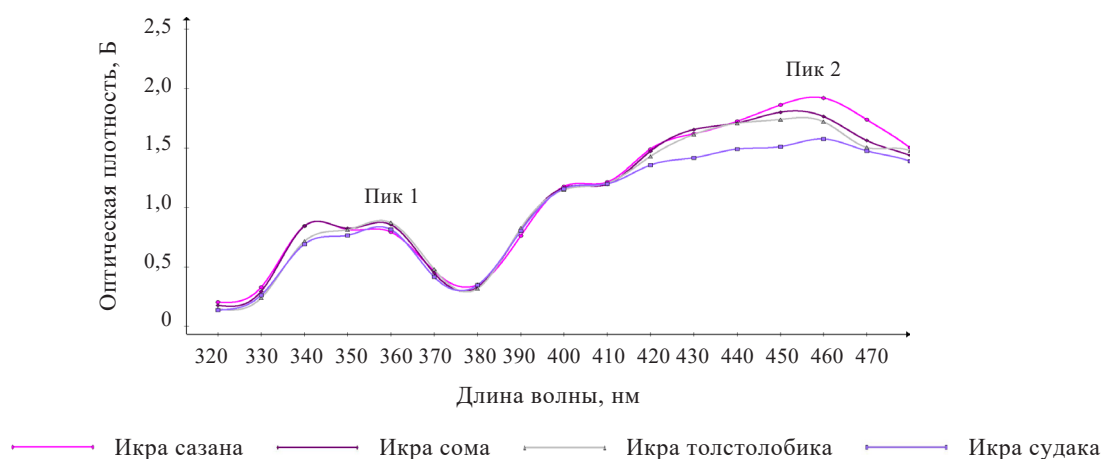


Рисунок 3. Зависимость оптической плотности ацетонового экстракта, полученного при взаимодействии свежей икры и ацетона (1:1,5), от длины волны

Figure 3. Effect of wavelength on optical density of acetone extract of fresh sac roe (1:1.5)

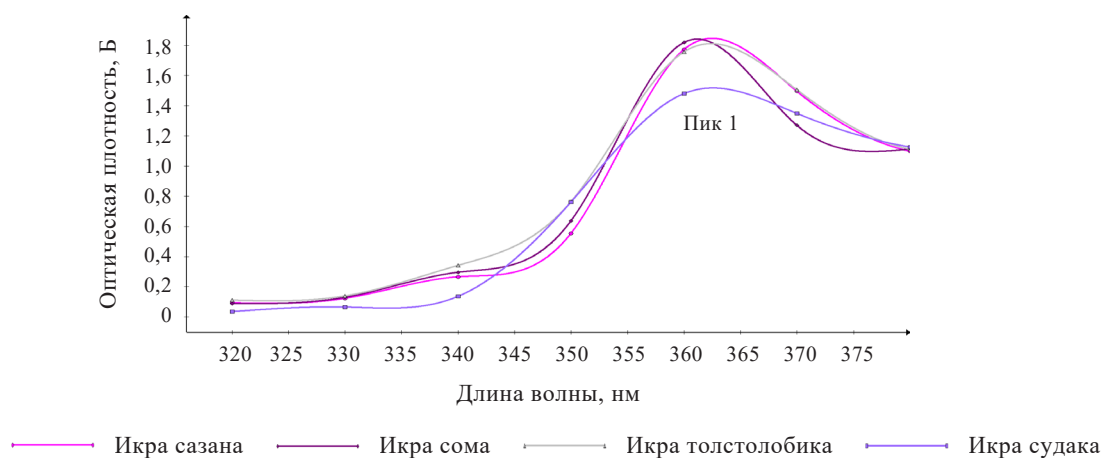


Рисунок 4. Зависимость оптической плотности этилового экстракта, полученного при взаимодействии икорного рафината и этилового спирта (1:8), от длины волны

Figure 4. Effect of wavelength on optical density of ethyl extract of refined sac roe (1:8)

и свежей икры и ацетона (рис. 2, 3), а также наличие одного пика значений D для экстрактов из рафината и этилового спирта (рис. 4).

Несмотря на наличие двух пиков на графиках (рис. 2, 3), наиболее приемлемым для изучения остается один из них. При этом для экстрактов, полученных при взаимодействии сухой икры и ацетона (1:4), этот пик приходится на рабочую длину волны, равную 420 нм; свежей икры и ацетона (1:1,5) – 460 нм; икорного рафината и этилового спирта (1:8) – 360 нм (рис. 4). Разные концентрации имеют соответствие определенному значению оптического показателя, причем минимальным значениям концентраций соответствует минимальное значение оптической плотности и наоборот (табл. 1).

Учитывая, что, согласно закону Бугера-Ламберта-Бера, оптическая плотность полученных экстрактов должна быть прямо пропорциональна концентрации окрашенного вещества, необходимо проверить данные таблицы 1 на соответствие упомянутому закону путем построения линейной графической зависимости между данными показателями (рис. 5) и расчета коэффициента корреляции между этими двумя показателями.

Линейная аппроксимация оптической плотности (D) изучаемых экстрактов, полученных при фиксированной рабочей длине, от их концентрации (рис. 5), а также рассчитанные для каждого отдельного случая коэффициенты корреляции, значение которых и подтверждает известный закон светопоглощения, математически описываются следующим образом:

– ацетоновый экстракт, полученный из сухой икры:

$$D = 1,921C_x \quad (1)$$

– ацетоновый экстракт, полученный из нативной икры:

$$D = 1,7822C_x \quad (2)$$

– этиловый экстракт, полученный из икорного рафината:

$$D = 1,7094C_x \quad (3)$$

где C_x – концентрация экстракта, %; коэффициент линейной корреляции соответственно – 0,987; 0,988; 0,999.

Следует отметить, что, определив для получаемого экстракта при фиксированной рабочей длине волны оптическую плотность, можно вычислить текущую концентрацию раствора C_x , %, используя уравнения 1–3. Область применения уравнений 1 и 2 охватывает экстрагирование ИЯК частиковых видов рыб ацетоном для интервала C_x от 0 до 4,5 %, а область применения уравнения 3 – экстрагирование ИЯК частиковых видов рыб этиловым спиртом для интервала C_x от 0 до 4,0 %.

Такая оперативность позволит достаточно точно и быстро при изучении кинетики экстрагирования определить скорость протекания процесса и кинетические коэффициенты его интенсивности от влияющих факторов. Однако математическое описание процессов массопереноса, к которым относится и экстрагирование, базирующееся на законе Фика, предполагает, что концентрация в нем выражается объемной величиной C_v , кг/м³, поэтому было бы логичнее получить математические зависимости, подобные 1–3, где концентрация выражалась бы не в процентах, а в кг/м³.

Для получения искомой зависимости необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований по определению плотностных характеристик экстрактов (табл. 2). Зная физическую плотность и концентрацию в процентах изучаемого экстракта, можно вычислить его объемную концентрацию.

На рисунке 6 представлена графическая зависимость оптической плотности полученных экстрактов

Таблица 1. Концентрация изучаемых экстрактов и соответствующая им оптическая плотность, средние значения

Table 1. Concentration and optical density of extracts, mean values

Наименование сырья	Концентрация экстракта, %	Оптическая плотность, Б
Экстракт из сухой икры и ацетона, соотношение 1:4, $\lambda = 420$ нм		
ИЯК толстолобика	1,28	2,258
ИЯК сазана	1,41	2,540
ИЯК судака	1,21	2,172
ИЯК сома	1,33	2,349
Экстракт из свежей икры и ацетона, соотношение 1:1,5, $\lambda = 460$ нм		
ИЯК толстолобика	0,91	1,721
ИЯК сазана	0,99	1,921
ИЯК судака	0,81	1,575
ИЯК сома	0,92	1,766
Экстракт из икорного рафината и этилового спирта, соотношение 1:8, $\lambda = 360$ нм		
Рафинат толстолобика	1,03	1,757
Рафинат сазана	1,04	1,774
Рафинат судака	0,89	1,482
Рафинат сома	1,06	1,819

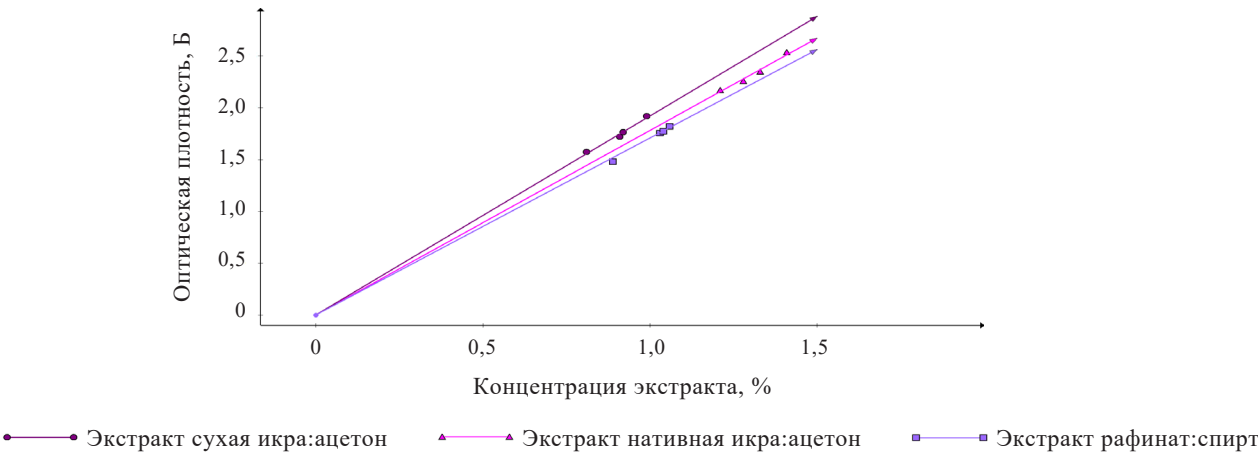


Рисунок 5. Зависимость оптической плотности изучаемых экстрактов от концентрации растворов и их линейная аппроксимация, подтверждающая закон Бугера-Ламберта-Бера

Figure 5. Solution concentration vs. optical density: linear approximation confirming the Beer-Bouguer-Lambert Law

Таблица 2. Концентрация и физическая плотность изучаемых экстрактов

Table 2. Concentration and physical density of extracts

Наименование сырья	Концентрация экстракта, %	Физическая плотность, кг/м ³ (средние значения)	Концентрация экстракта, кг/м ³ (расчетные значения)
Экстракт из сухой икры и ацетона, соотношение 1:4, $\lambda = 420$ нм			
ИЯК толстолобика	1,28	793,15	10,152
ИЯК сазана	1,41	793,34	11,186
ИЯК судака	1,21	793,01	9,595
ИЯК сома	1,33	793,21	10,549
Экстракт из свежей икры и ацетона, соотношение 1:1,5, $\lambda = 460$ нм			
ИЯК толстолобика	0,91	843,74	7,678
ИЯК сазана	0,99	844,53	8,361
ИЯК судака	0,81	843,54	6,833
ИЯК сома	0,92	843,76	7,762
Экстракт из икорного рафината и этилового спирта, соотношение 1:8, $\lambda = 360$ нм			
Рафинат толстолобика	1,03	784,33	8,078
Рафинат сазана	1,04	784,28	8,156
Рафинат судака	0,89	784,96	6,986
Рафинат сома	1,06	784,19	8,312

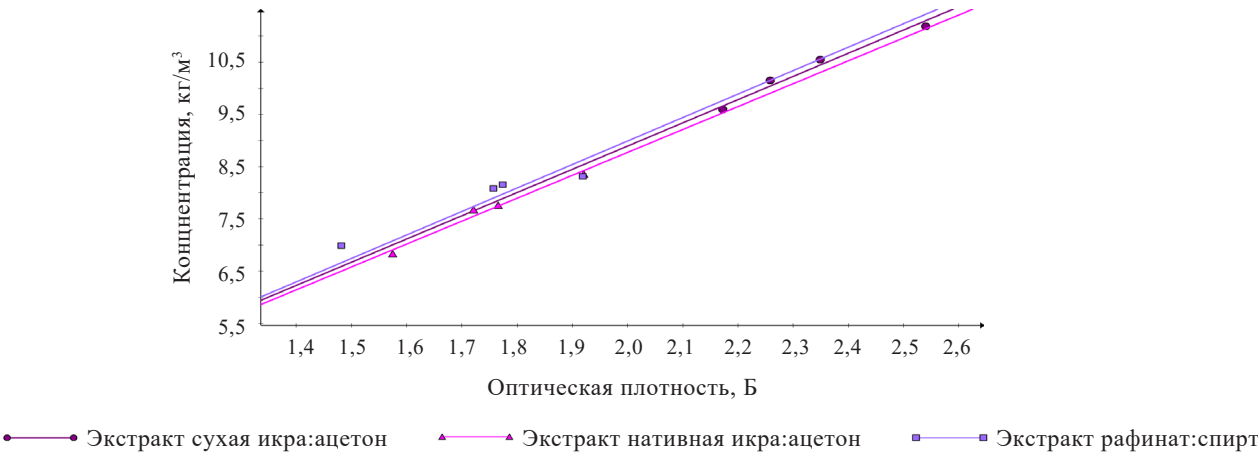


Рисунок 6. Зависимость объемной концентрации экстрактов от оптической плотности и их линейная аппроксимация

Figure 6. Optical density vs. volume concentration: linear approximation

от их объемной концентрации, аппроксимируя которые можно получить уравнение, позволяющее в дальнейшем рассчитывать содержание целевых веществ в вырабатываемых ацетоновых и этиловых экстрактах.

Полученная линейная зависимость (рис. 5, 6), является универсальной для всех изучаемых ИЯК рыб, что позволяет применять такой градуировочный график для определения концентрации экстрактов любой изучаемой икры данного исследования. Линейная аппроксимация объемной концентрации экстрактов C_y (кг/м³), полученная при фиксированной рабочей длине, от оптической плотности (D) математически описывается следующим образом:

– ацетоновый экстракт, полученный из сухой икры:

$$C_y = 4,4470D \quad (4)$$

– ацетоновый экстракт, полученный из нативной икры:

$$C_y = 4,3864D \quad (5)$$

– этиловый экстракт, полученный из икорного рафината:

$$C_y = 4,4954D \quad (6)$$

В итоге получены простые математические зависимости концентрации исследуемых экстрактов от оптической плотности. Область применения уравнений 4 и 5 охватывает экстрагирование ИЯК частиковых видов рыб ацетоном для интервала C_x от 0 до 15 кг/м³, а область применения уравнения 6 – экстрагирование ИЯК частиковых видов рыб этиловым спиртом для интервала C_x от 0 до 12 кг/м³.

Применение градуировочных графиков является наиболее распространенным и точным методом фотометрических измерений, однако основные ограниче-

ния метода связаны с влиянием третьих компонентов, которые находятся в пробе и не определяются, но оказывают влияние на конечный результат. При этом использование уравнений 4–6 позволит оперативно, непосредственно по ходу реализации процесса экстрагирования, определять концентрацию экстракта в нужной единице измерения и с допустимой инженерной точностью, что, несомненно, является весомым достоинством применяемого фотометрического метода при исследовании экстракционных технологий.

В результате проведенных экспериментальных исследований по изучению кинетических закономерностей экстрагирования с использованием фотометра фотоэлектрического В-1200 при пятикратном дублировании опытов для экстракта найдены средние показатели оптической плотности (D), отвечающие длительности экстракции (τ) целевых компонентов икорного сырья как в ацетоне, так и в этиловом спирте. Опираясь на опытные данные и соотношения для пересчета D в долю сухого остатка в концентрации экстракта (4–6), получены кривые экстракции (рис. 7–9).

Продолжительность экстрагирования ацетоном сухой икры при вышеописанных условиях составляет 4 мин, за это время концентрация получаемого экстракта в среднем по всем видам икорного сырья составила ≈ 10 кг/м³ (рис. 7). Продолжительность процесса экстрагирования ацетоном нативной икры – 65 мин, концентрация получаемого экстракта в среднем по всем видам икорного сырья – $\approx 7,6$ кг/м³ (рис. 8). Продолжительность процесса экстрагирования спиртом икорного рафината – 35 мин, концентрация получаемого экстракта в среднем по всем видам икорного сырья – $\approx 7,8$ кг/м³ (рис. 9).

Выявление механизма переноса массы при экстракции осуществляется с использованием функций ее интенсивности в зависимости от концентрации экстракта:

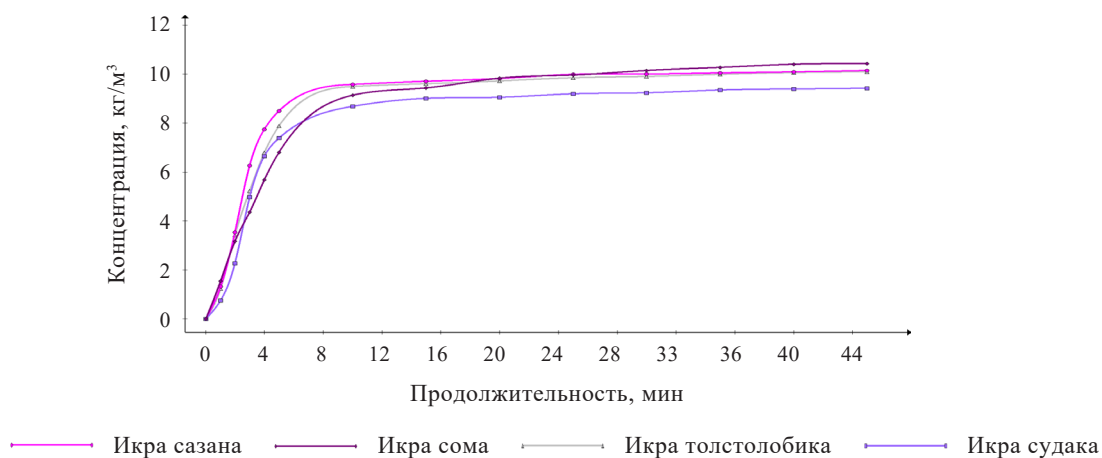


Рисунок 7. Кривые процесса экстрагирования ацетоном сухой икры при температуре экстрагента 40 °С и соотношении взаимодействующих веществ 1:4

Figure 7. Extraction curves for dry sac roe with acetone (1:4) at 40°C extractant temperature

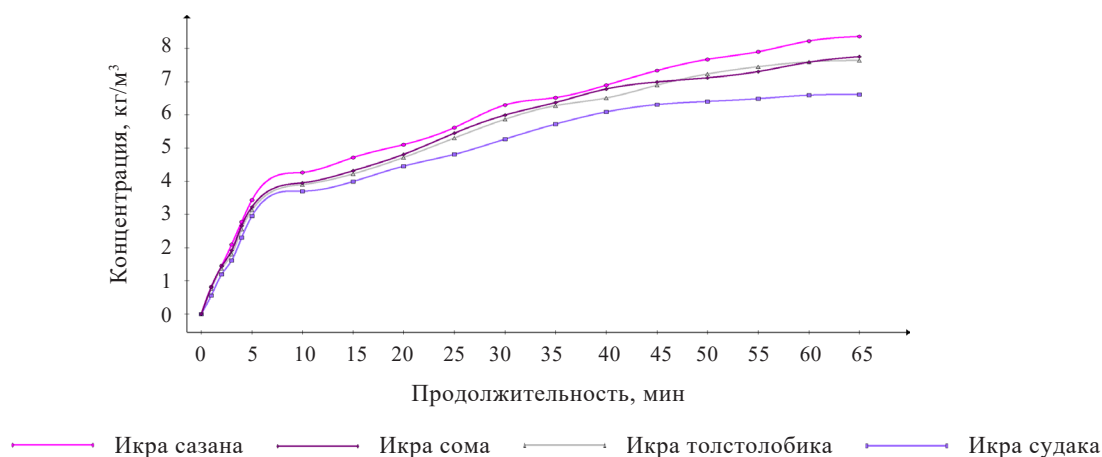


Рисунок 8. Кривые процесса экстрагирования ацетоном нативной икры при температуре экстрагента 40 °С и соотношении взаимодействующих веществ 1:1,5

Figure 8. Extraction curves for fresh sac roe with acetone (1:1.5) at 40°C extractant temperature

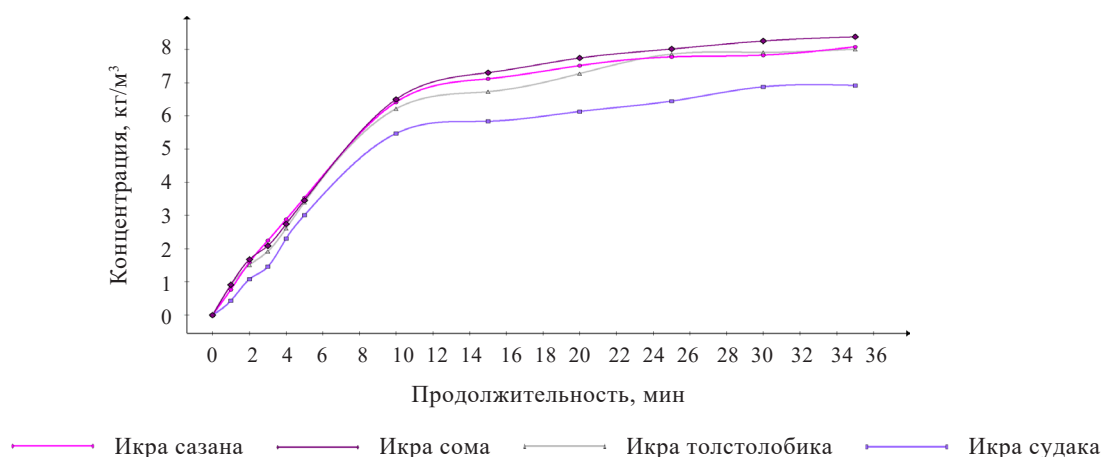


Рисунок 9. Кривые процесса экстрагирования спиртом икорного рафината при температуре экстрагента 60 °С и соотношении взаимодействующих веществ 1:8

Figure 9. Extraction curves for refined sac roe with alcohol (1:8) at 60°C extractant temperature

$$\frac{dC_s}{d\tau} = f(C_s) \quad (7)$$

На рисунках 10–12 представлена данная зависимость, полученная расчетно-графическим путем, где продолжительность процесса переведена в секунды.

На оси абсцисс (рис. 10–12) отложена не продолжительность массопереноса, а уровень насыщения экстрагентом целевыми компонентами, т. е. достижения определенной концентрации этих веществ в нем. Это связано с тем, что в таком варианте графического представления кинетики экстрагирования, во-первых, на кривой скорости будут более наглядно видны характерные периоды экстрагирования. При этом время достижения рациональной конечной концентрации сухих веществ в экстрагенте можно определить уже опосредованно через саму величину концентрации

исследуемого экстракта. Во-вторых, что является более важным, данная графическая интерпретация показывает, до какой конечной рациональной концентрации экстракта при данных режимных параметрах массопереноса необходимо проводить этот процесс, т. е. до такой величины, при которой значение скорости является уже нерациональным с точки зрения реализации самой технологической операции экстрагирования.

Например, на рисунке 10 четко прослеживается, что экстрагирование ацетоном сухой икры при температуре экстрагента 40 °С и соотношении взаимодействующих веществ 1:4 наиболее рационально проводить до достижения в экстракте концентрации 9–9,5 кг/м³. Из рисунка 11 понимаем, что экстрагирование ацетоном нативной икры при температуре экстрагента 40 °С и соотношении взаимодействующих веществ 1:1,5 наиболее рационально проводить

до достижения в экстракте концентрации 4–4,5 кг/м³, что, скорее всего, связано с завершением перехода из сырья в экстрагент воды, который нивелирует экстрактивные возможности применяемого растворителя. Из рисунка 12 видно, что экстрагирование спиртом икорного рафината при температуре экстрагента 60 °С и соотношении взаимодействующих веществ 1:8 наиболее рационально проводить до достижения в экстракте концентрации 7–8 кг/м³. На кинетических кривых присутствуют несколько характерных периодов проведения процесса. Рассмотрим каждый вид экстрагирования отдельно.

Анализ кинетики экстрагирования ацетоном сухой икры (рис. 10) показал, что на кривых скорости наблюдаются два характерных периода проведения этого процесса: первый – в интервале 0–4,0 кг/м³, второй – 4,0–10,0 кг/м³. На первом этапе зафиксирована максимальная скорость процесса, которая снижается

по мере насыщения экстракта. Это происходит за счет смены в капиллярных объемах насыщенного раствора на обедненный и снижения сопротивления переносу экстрактивных веществ ввиду полного смачивания сухих икринок. При этом на ее поверхности увеличивается количество экстрактивных веществ, которые интенсивно переходят в экстракт, перекрывая тем самым снижающую разность массообменных потенциалов. Спад интенсивности экстрагирования на второй стадии обусловлен уже заметным снижением движущей силы массопереноса по причине падения концентрации экстрагируемых составляющих в рафинате и их количества в экстрагенте.

Анализ кинетики экстрагирования ацетоном нативной икры (рис. 11) привел к выводу, что на кинетических кривых присутствуют уже три характерных периода проведения этого процесса, причем первый и второй периоды также подразделяются на два само-

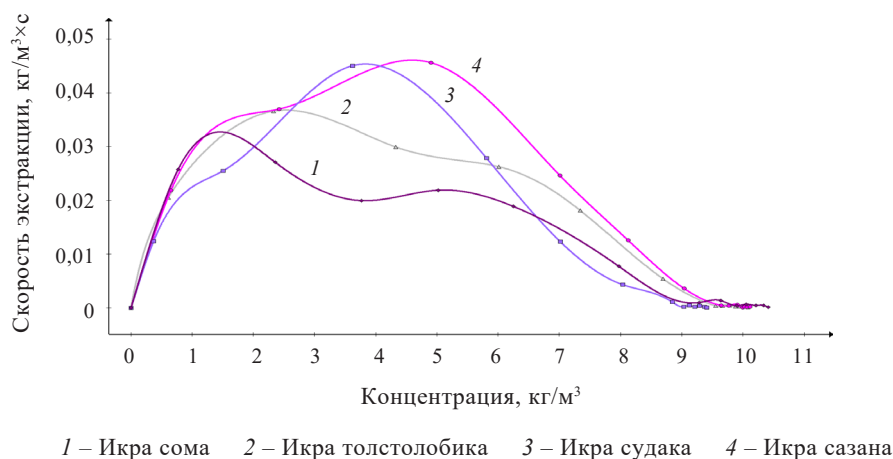


Рисунок 10. Кинетика экстрагирования ацетоном сухой икры при температуре экстрагента 40 °С и соотношении взаимодействующих веществ 1:4

Figure 10. Extraction kinetics for dry sac roe and acetone (1:4) at 40°C extractant temperature

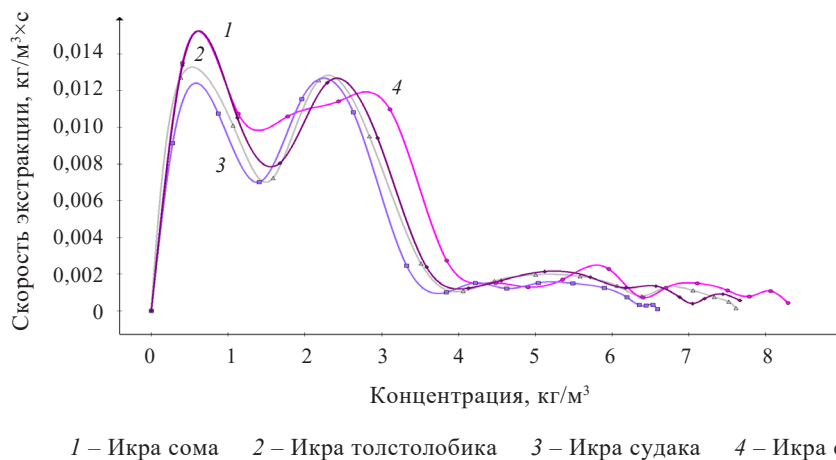


Рисунок 11. Кинетика экстрагирования ацетоном нативной икры при температуре экстрагента 40 °С и соотношении взаимодействующих веществ 1:1,5

Figure 11. Extraction kinetics for fresh sac roe (1:1,5) at 40°C extractant temperature



Рисунок 12. Кинетика экстрагирования спиртом икорного рафината при температуре экстрагента 60 °С и соотношении взаимодействующих веществ 1:8

Figure 12. Extraction kinetics for refined sac roe (1:8) at 60°C extractant temperature

стоятельных участка, а третий период указывает на участок вялотекущего перехода экстрактивных веществ в экстракт. Первый период экстрагирования, который заканчивается при достижении концентрации экстракта значения 1,5 кг/м³, объясняется таким же образом, как и кинетика экстрагирования ацетоном сухой икры. Второй период, находящийся в диапазоне концентрации сухих веществ в экстракте от 1,5 до 4,0 кг/м³, объясняется появлением в сложной структуре икринок большого количества пор из-за вытеснения влаги из икорного сырья в экстракт, что делает икорную частицу неким подобием губки. Ввиду этого возникает большое количество замкнутых или труднодоступных для извлечения целевых веществ зон. Наряду с этим, за счет возникновения локальной движущей силы между замкнутыми и свободными порами происходит разрушение перегородок и, соответственно, этих зон, тем самым интенсифицируя массоперенос. Как видно на кривой, когда целевой компонент уже извлечен из этих областей, скорость падает. Третий период, находящийся в диапазоне концентрации сухих веществ в экстракте от 4,0 до 8,5 кг/м³ и показывающий вялотекущий переход экстрактивных веществ в экстракт, объясняется заметным снижением количества замкнутых или труднодоступных для извлечения целевых веществ зон в рафинате. Оставшиеся замкнутые поры имеют сравнительно малые размеры, однако наличие в других порах менее разбавленного экстрагента, чем в ядре, позволяет накопить необходимую движущую силу для их разрушения и дополнительного извлечения целевых веществ. Количество извлекаемых веществ при этом сравнительно мало, и их извлечение носит скачкообразный характер, что и наблюдается на кривой в данном диапазоне концентраций.

Анализ кинетики экстрагирования спиртом икорного рафината (рис. 12) выявил, что на кинетических

кривых присутствуют два периода экстрагирования. Первый период, находящийся в диапазоне концентрации сухих веществ в экстракте от 0 до 3,0 кг/м³, представляет собой двухэтапное увеличение скорости экстрагирования с неким участком падения этого параметра. Второй период, находящийся в диапазоне концентрации сухих веществ в экстракте от 3,0 до 8,0 кг/м³, указывает на монотонное снижение скорости перехода экстрактивных веществ в экстракт. Характер кинетической кривой в первом периоде объясняется тем, что вначале из икорного рафината, который, как указывалось ранее, представляет собой высокопористую структуру, извлекается целевой компонент из свободных пор, имеющий участок как роста скорости извлечения (0–1,5 кг/м³), так и его падения (1,5–2,0 кг/м³). Затем извлечение происходит из замкнутых пор и труднодоступных зон, что снова приводит к росту скорости экстракции (2,0–3,0 кг/м³). Спад интенсивности экстракции на второй стадии обусловлен уже заметным снижением движущей силы массопереноса по причине падения концентрации экстрагируемых составляющих в рафинате и ее повышения в экстрагенте.

Выводы

Выявлены кинетические закономерности процессов экстракции из ИЯК и его рафината, полученного после проведения первой ступени селективного экстрагирования. Анализ результатов изучения кинетики экстрагирования показал, что на кривых скорости наблюдались характерные периоды проведения процесса. Отметим отдельно каждый вид экстрагирования.

1. Экстракция высушенной икры ацетоном включает два характерных периода: первый – в диапазоне концентрации от 0 до 4,0 кг/м³, и второй – от 4,0 до 10,0 кг/м³. В первом периоде скорость возрастает благодаря максимальной движущей силе, которая

постепенно снижается из-за насыщения экстракта, однако смена насыщенного раствора в капиллярах на обедненный приводит к уменьшению сопротивления массопереносу за счёт полного смачивания икринок, что увеличивает количество экстрактивных веществ на поверхности икры и компенсирует снижение разности массообменных потенциалов. Во втором периоде падение скорости связано с уменьшением движущей силы вследствие снижения концентрации веществ в рафинате и ее роста в экстрагенте.

2. Экстракция свежей икры ацетоном состоит из трех характерных периодов, причем первый и второй периоды делятся на два этапа, а третий характеризуется замедленным переходом веществ в экстракт. В первом периоде, заканчивающемся при концентрации 1,5 кг/м³, процесс протекает аналогично экстрагированию высушенной икры. Второй период (1,5–4,0 кг/м³) объясняется образованием пор за счёт вытеснения влаги из икры, что превращает её в губкообразную структуру. Замкнутые поры создают зоны труднодоступных веществ, но разрушение их перегородок за счёт локальной движущей силы усиливает массоперенос. После извлечения целевых компонентов из этих областей скорость падает. В третьем периоде (4,0–8,5 кг/м³) замедленное извлечение обусловлено уменьшением количества замкнутых пор, которые становятся труднодоступными для разрушения, однако локальная движущая сила, создаваемая разницей концентраций, позволяет извлекать остаточные вещества небольшими порциями, что и отображается на кинетической кривой.

3. Экстракция икорного рафината спиртом проходит в течение двух периодов. Первый (0–3,0 кг/м³) характеризуется двумя этапами: ростом скорости экстракции (0–1,5 кг/м³), ее последующим снижением (1,5–2,0 кг/м³) и дальнейшим ростом (2,0–3,0 кг/м³) за счет извлечения веществ сначала из свободных пор, а затем и из труднодоступных зон. Второй период (3,0–8,0 кг/м³) сопровождается монотонным сниже-

нием скорости экстракции из-за уменьшения движущей силы, связанного с исчерпанием компонентов в рафинате и увеличением их концентрации в экстрагенте.

Изучение эмпирических данных по скорости экстракции позволило заключить, что присутствие на кривых скорости характерных стадий массопереноса не входит в конфликт с известными положениями теории экстракции [23–26], поэтому полученные данные могут использоваться в инженерной практике пищевой промышленности.

Критерии авторства

А. Х.-Х. Нугманов руководил проектом, предложил методику проведения экспериментов. З. М. Арабова проводила экспериментальные исследования, подготовила рукопись. Д. М. Бородулин организовал производственные испытания, корректировал рукопись до подачи в редакцию. И. Ю. Алексанян проводил консультации в ходе исследования. О. И. Коннова проводила поиск литературных источников и патентный поиск по исследуемой проблеме. Все авторы несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.Kh.-Kh. Nugmanov supervised the project and developed the methodology. Z.M. Arabova conducted the experiments and wrote the manuscript. D.M. Borodulin organized the production tests and proofread the manuscript. I.Yu. Aleksanyan provided consultations. O.I. Konnova reviewed scientific publications and patents. All authors are responsible for any potential plagiarism.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Арабова З. М., Алексанян И. Ю., Нугманов А. Х.-Х., Бакин И. А., Коннова О. И. и др. Изучение химического состава и оценка энергетической ценности смеси ястыков и икры ряда пресноводных рыб. Новые технологии. 2023. Т. 19. № 4. С. 20–30. [Arabova ZM, Aleksanyan IYu, Nugmanov AH-H, Bakin IA, Konnova OI, et al. Studying the chemical composition and energy value of a mixture of roe films and caviar of a series of freshwater fish. New technologies. 2023;19(4):20–30. (In Russ.)] <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-20-30>
2. Rana S, Singh A, Surasani VKR, Kapoor S, Desai A, et al. Fish processing waste: A novel source of non-conventional functional proteins. International Journal of Food Science & Technology. 2023;58(5):2637–2644. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16104>
3. Mohanty B, Mohanty U, Pattanaik SS, Panda A, Jena AK. Future prospects and trends for effective utilization of fish processing wastes in India. Innovative Farming. 2018;3(1):1–5.
4. Gorbатовskiy AA, Rakityanskaya IL, Kaledina MV. Minced products from undersized sea fish: New industrial technology. Foods and Raw Materials. 2021;9(1):87–94. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-87-94>
5. Лазарева О. И., Сытов А. М. Оценка биологической безопасности антарктического криля *Euphausia superba* (Dana, 1852) из вод Атлантического океана. Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 449–457.

[Lazareva OI, Sytov AM. Biological safety assessment of antarctic krill *Euphausia superba* (Dana, 1852) from the Atlantic Ocean. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(3):449–457. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2378>

6. Углова Н. Ю., Мукатова М. Д. Ястыки частиковых видов рыб как потенциальное сырье для производства пищевых белковых продуктов. Труды ВНИРО. 2019. Т. 176. С. 72–80. [Uglova NYu, Mukatova MD. Caviar of pond species of fish as potential raw material for production of protein food products. Trudy VNIRO. 2019;176:72–80. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2019-176-72-80>

7. Afreen M, Ucak I. Fish processing wastes used as feed ingredient for animal feed and aquaculture feed. Journal of Survey in Fisheries Sciences. 2020;6(2):55–64. <https://doi.org/10.18331/SFS2020.6.2.7>

8. Mohanty B, Hauzoukim SS, Swain S. A review on fish processing wastes generation in India and its further utilization prospects into different value-added compounds. Indian Journal of Natural Sciences. 2020;10(60):24177–24182.

9. Молибога Е. А., Сухостав Е. В., Козлова О. А., Зинич А. В. Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект. Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 775–786. [Moliboga EA, Sukhostav EV, Kozlova OA, Zinich AV. Functional food market analysis: Russian and international aspects. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):775–786. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>

10. Arabova ZM, Konnova OI, Aleksanyan IYu, Nugmanov AH-H, Arabov MSh, et al. Comparative characteristics of the nutritional value of big carp, catfish, carp and piece caviar. Modern Science and Innovations. 2023;1(41):65–71. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2023.1.6>

11. Halavach TM, Kurchenko VP, Tarun EI, Romanovich RV, Mushkevich NV, et al. Chitosan complexes with amino acids and whey peptides: Sensory and antioxidant properties. Foods and Raw Materials. 2024;12(1):13–21. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-1-584>

12. Покровский Б. И., Шабельский Д. Л., Кайко А. М., Шаповалов М. Е. Оптимальные оценки повышения глубины переработки рыбного сырья ресурсов пресноводных водоемов в целях развития внутреннего рынка рыбопродукции РФ. International Agricultural Journal. 2022. Т. 65. № 5. С. 223–262. [Pokrovskii BI, Shabel'skii DL, Kaiko AM, Shapovalov ME. Optimal estimates of increasing depth processing of fish raw materials freshwater resources for development purposes the domestic market of fish products of the Russian Federation. International Agricultural Journal. 2022;65(5):223–262. (In Russ.)] https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_5_14

13. Бородина А. В., Веляев Ю. О., Осокин А. Р. Комплексный методический подход в определении липидов моллюсков. Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 4. С. 662–671. [Borodina AV, Veliaev YuO, Osokin AR. Comprehensive methodological approach to determining lipids in clams. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(4):662–671. (In Russ.)] <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2464>

14. Лисовая Е. В., Викторова Е. П., Свердличенко А. В., Жане М. Р. Влияние ультразвукового воздействия на эффективность процесса обезжиривания жидких лецитинов. Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 3. С. 445–454. [Lisovaya EV, Viktorova EP, Sverdlichenko AV, Zhane MR. Effect of ultrasonic exposure on the efficiency of de-oiling fluid lecithins. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(3):445–454. (In Russ.)] <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2447>

15. Zakharenko AM, Kirichenko KYu, Vakhniuk IA, Golokhvast KS. Supercritical extraction technology of obtaining polyunsaturated acids from starfish (*Lysastrosoma anthosticta* Fisher, 1922). Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(4):753–758. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-753-758>

16. Дементьева Н. В., Богданов В. Д. Исследование пищевой ценности икры промысловых видов рыб. Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: материалы V Междунар. науч.-техн. конф. Владивосток, 2018. Ч. II. С. 28–33. [Dementeva NV, Bogdanov VD. The study of nutritional values of caviar fishing kind of fish. Urgent Problems of the World Ocean Biological Resources Development: Proceeding Intern. Sci. Conf. Vladivostok, 2018; Pt. II:28–33. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YNEADB>

17. Nebogina NA, Yudina NV. Effect of phase transitions in high-wax crude oil and emulsions on structural-and-rheological properties. Petroleum Chemistry. 2020;60(7):794–801. <https://doi.org/10.1134/S0965544120070105>

18. Loskutova YuV, Yudina NV. Destruction of a water-in-oil emulsion under combined action of a low-frequency acoustic field and a demulsifier. Petroleum Chemistry. 2022;62(5):506–514. <https://doi.org/10.1134/S0965544122020220>

19. Li Yu, Cheng J, Zhao D, Chen X, Sun G, et al. Inhibiting zinc dendrites and side reactions enabled by solvation structure regulation and facile de-solvation process. Energy Storage Materials. 2023;63:102997. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2023.102997>

20. Фоменко Е. В., Запорожец Е. Ю., Котельников А. В., Алексанян И. Ю., Нугманов А. Х.-Х. Статика и кинетика операции экстракции целевых компонентов из сухого эктокарпуса водно-спиртовой композицией. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 2. С. 118–126. [Fomenko EV, Zaporozhch EYu, Kotelnikov AV, Aleksanyan IYu, Nugmanov AH-H. Statics and kinetics of operation of extraction of target components from dry Ectocarpus with aqueous-alcoholic composition. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry. 2023;(2):118–126. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-2-118-126>

21. Mostofa S, Jahan SA, Saha B, Sharmin N, Ahmed S. Kinetic and thermodynamic investigation on adsorption of lead onto apatite extracted from mixed fish bone. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2022;18:100738. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100738>
22. Khan MA, Moradipour M, Obeidullah Md, Quader A. Heat and mass transport analysis of the drying of freshwater fishes by a forced convective air-dryer. *Journal of Food Process Engineering*. 2021;44(1):e13574. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13574>
23. Евсеева С. С. Разработка способа получения экстракта из тутовых плодов и совершенствование процесса его сушки: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. Астрахань, 2022. 203 с. [Evseeva SS. A new mulberry extraction method and optimization of the drying process: Cand. Sci. Eng. Diss. Astrakhan, 2022. 203 p. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/KLPGYC>
24. Андреева Е. В. Научное обоснование процессов комплексной сушильно-экстракционной обработки баклажанной кожуры: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. Астрахань, 2022. 211 с. [Andreeva EV. Scientific substantiation of complex drying and extraction of eggplant peel: Cand. Sci. Eng. Diss. Astrakhan, 2022. 211 p. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ICSSKA>
25. Аксельруд Г. А., Лысянский В. М. Экстрагирование: Система твердое тело – жидкость. Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1974. 254 с. [Akselrud GA., Lysyansky VM. Extraction: Solid-liquid system. Leningrad: Chemistry. Leningrad Branch, 1974. 254 p. (In Russ.)]
26. Welty J, Rorrer GL, Foster DG. Fundamentals of momentum, heat, and mass transfer. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2020. 784 p.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2559>
<https://elibrary.ru/KQCHDK>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Исследование состава ароматизаторов для алкогольных напитков домашней выработки



А. В. Оберенко^{1,*}, С. В. Качин¹, С. А. Сагалаков¹,
А. Д. Яковлев², Н. А. Козель¹

¹ Сибирский федеральный университет^{ROR}, Красноярск, Россия

² Федеральный Сибирский научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства России, Красноярск, Россия

Поступила в редакцию: 02.05.2024

Принята после рецензирования: 09.09.2024

Принята к публикации: 01.10.2024

*А. В. Оберенко: aoberenko@sfu-kras.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-1156-9644>

С. В. Качин: <https://orcid.org/0000-0002-7162-449X>

С. А. Сагалаков: <https://orcid.org/0000-0002-6459-8852>

А. Д. Яковлев: <https://orcid.org/0009-0008-2624-6793>

Н. А. Козель: <https://orcid.org/0009-0007-7029-7136>

© А. В. Оберенко, С. В. Качин, С. А. Сагалаков, А. Д. Яковлев,
Н. А. Козель, 2025



Аннотация.

Ароматизаторы добавляют в процессе промышленного производства алкогольных напитков для создания необходимого аромата и вкуса. Требования к качеству ароматизаторов, их химическому составу, допустимым уровням применения и методам контроля строго регламентированы. Для приготовления алкогольных напитков в домашних условиях рынок предлагает ароматизаторы-имитаторы известных брендов, сведения о составе которых, равно как и о методах контроля качества, практически отсутствуют. Цель исследования – изучить компонентный состав ароматизаторов-имитаторов, а также определить соответствующие процедуры аналитических измерений.

Объектами исследования послужили ароматизаторы, имитирующие вкусовые профили коньяка, чачи, текилы, бренди, джин-тоники, ликера. Исследование проводили с использованием фурье-спектрометра ФТ-801 (ООО НПФ «СИМЕКС», Россия) с приставкой SIMTEX (Россия) для работы в режиме НПВО, газового хроматографа Кристалл-5000.2 (Хроматэк, Россия) с колонкой TR-5MS (Thermo Fisher Scientific, США) и квадрупольным масс-спектрометрическим детектором ISQ (Thermo Scientific, Германия). Для определения растворителей / носителей в составе ароматизатора 0,050 см³ раствора образца смешивали с 10 см³ метанола. Для определения ароматообразующих веществ растворы образцов предварительно экстрагировали трихлорметаном (хлороформом). ИК-НПВО-спектры обрабатывали с использованием программного обеспечения OMNIC (Version 7.0, Thermo Electron Corp., США), а масс-спектры – NIST MS Search 2.0 (NIST, США).

В ходе исследования получены данные о компонентном составе ряда ароматизаторов-имитаторов. Установлено, что в качестве растворителей / носителей в ароматизаторах выступают пропиленгликоль, глицерин и триацетин. Вкусо-ароматические показатели исследуемых ароматизаторов определяются относительно небольшим набором из 1–5 веществ, составляющих 70 % и более компонентного состава: в ароматизаторе Коньяк (Elix) – 4-гидрокси-3-метоксибензальдегид (ванилин) – 78,5 %; Чача (Alcotec) – 3,7-диметил-1,6-октадиен-3-ол и метил-2-аминобензоат (94,4 %); Бренди (Alcotec) – ванилин и этиллаурат (81,7 %); Текила (Alcostar) – 3-метил-1-бутанол, этилдеканат, этиллаурат и ванилин (73,7 %); Джин-тоник (Etol) – фенилметанол, 3,7-диметил-1,6-октадиен-3-ол, (1R)-1-изопропил-4-метил-3-циклогексен-1-ол и 2-(4-метил-3-циклогексен-1-ил)-2-пропанол (83,5 %). В результате перечень и относительное содержание ключевых ароматообразующих веществ ни в одном из исследуемых ароматизаторов не совпадают с сенсорными профилями их натуральных аналогов.

Сочетание спектроскопий инфракрасной в режиме НПВО и газовой хроматографии с масс-селективным детектированием и последующей математической обработкой полученных данных позволяет получить необходимые сведения о химическом составе ароматизаторов для оценки их вкусовых профилей, пищевой безопасности и подлинности алкогольных напитков.

Ключевые слова. Алкогольные напитки, ароматизатор, пищевые добавки, ИК-НПВО, ГХ-МС, хеометрика

Для цитирования: Оберенко А. В., Качин С. В., Сагалаков С. А., Яковлев А. Д., Козель Н. А. Исследование состава ароматизаторов для алкогольных напитков домашней выработки. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 89–106. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2559>

Composition of Flavorings for Home-Made Alcoholic Beverages



Andrey V. Oberenko^{1,*}, Sergei V. Kachin¹,
Sergei A. Sagalakov¹, Artem D. Yakovlev², Natalia A. Kozel¹

¹ Siberian Federal University^{ROR}, Krasnoyarsk, Russia

² Federal Siberian Research Clinical Centre, Federal Medical Biological Agency of Russia, Krasnoyarsk, Russia

Received: 02.05.2024

Revised: 09.09.2024

Accepted: 01.10.2024

*Andrey V. Oberenko: aoberenko@sfu-kras.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-1156-9644>

Sergei V. Kachin: <https://orcid.org/0000-0002-7162-449X>

Sergei A. Sagalakov: <https://orcid.org/0000-0002-6459-8852>

Artem D. Yakovlev: <https://orcid.org/0009-0008-2624-6793>

Natalia A. Kozel: <https://orcid.org/0009-0007-7029-7136>

© A.V. Oberenko, S.V. Kachin, S.A. Sagalakov, A.D. Yakovlev,
N.A. Kozel, 2025



Abstract.

Flavorings give commercial alcoholic beverages a recognizable sensory profile. Their quality, chemical composition, acceptable levels, and control methods are standardized by the state. For home-made alcoholic beverages, the market offers a wide range of flavorings that imitate popular brands. However, their composition is seldom labelled, and their quality control methods remain unknown. The research objective was to study the component composition of imitation flavorings in order to develop appropriate analytical measurement protocols.

The research featured flavorings of different brands that imitate flavor profiles of cognac, chacha, tequila, brandy, gin, and liqueur. It included a FT-801 Fourier spectrometer (SPF SIMEX, Russia) with SIMEX attachment (Russia) for attenuated total internal reflectance, as well as a Crystal-5000.2 gas chromatograph (Russia) with a TR-5MS column and an ISQ quadrupole mass spectrometric detector (Thermo Fisher Scientific, USA). To detect the solvents (carriers), 0.050 cm³ of each sample solution was mixed with 10 cm³ of methanol. To detect the flavoring agent, the sample solutions were pre-extracted with trichloromethane (chloroform). The obtained IR-NIR spectra were processed using the OMNIC software; the mass spectra were processed with NIST MS Search 2.0 (NIST, USA).

The research revealed the following data on the nature of solvent carriers and flavoring agents. Propylene glycol, glycerol, and triacetin acted as solvents (carriers). As few as 1-5 substances were responsible for the sensory profile, but they made up ≥ 70% of the total composition. The cognac flavoring of the Elix brand contained 4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (vanillin, 78.5%); the chacha flavor (Alcotec) was provided by 3,7-dimethyl-1,6-octadien-3-ol and methyl-2-aminobenzoate (94.4%); the brandy taste (Alcotec) was imitated by vanillin and ethyl laurate (81.7%); the tequila flavoring (Alcostar) contained 3-methyl-1-butanol, ethyl decanoate, ethyl laurate, and vanillin (73.7%); the gin-tonic flavor (Etol) resulted from a combination of phenylmethanol, 3,7-dimethyl-1,6-octadien-3-ol, (1R)-1-isopropyl-4-methyl-3-cyclohexen-1-ol, and 2-(4-methyl-3-cyclohexen-1-yl)-2-propanol (83.5%). None of the artificial additives had the same flavoring agents in the same relative content as the original drinks.

In this study, a combination of FTIR-ATR spectrometry and GC-MS spectrometry with subsequent mathematical processing provided comprehensive information on the chemical composition of flavoring agents that could be used to assess their sensory profiles, food safety, and authenticity.

Keywords. Alcoholic beverages, flavoring agent, food additives, FTIR-ATR, GC-MS, chemometrics

For citation: Oberenko AV, Kachin SV, Sagalakov SA, Yakovlev AD, Kozel NA. Composition of Flavorings for Home-Made Alcoholic Beverages. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):89–106. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2559>

Введение

В соответствии с ГОСТ Р 52177-2003, пищевые ароматизаторы представляют собой добавки индивидуальных вкусоароматических веществ, их смесей с растворителем, сухим носителем, наполнителем (или без них), вносимые в процессе получения продукта для улучшения аромата и вкуса по ГОСТ 32049-2013. Для алкогольной продукции данные сенсорные атрибуты

являются неотъемлемыми показателями качества и подлинности продукта [1–4]. Причем для достижения заданного вкусового профиля ароматизаторы добавляются в минимальных количествах. Как правило, ароматизаторы – сложные смеси, включающие сахара, искусственные подсластители, красители, эмульгаторы, стабилизаторы, антиоксиданты, консерванты, регуляторы кислотности, растворители и др. [5, 6].

В ГОСТ Р 52177-2003, а также в Техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 029/2012 прописаны требования к ароматизаторам, их химическому составу, допустимым уровням применения и методам контроля.

С ароматизаторами, которые используют в домашних условиях для приготовления алкогольных напитков, имитирующих известные бренды, ситуация обстоит иначе [7, 8]. Сведения о химическом составе этих ароматизаторов, равно как и о методах контроля их качества, практически отсутствуют. В связи с этим результаты исследований в данной области могут представлять интерес для потенциальных потребителей продукции, сотрудников экспертных подразделений соответствующих органов при оценке пищевой безопасности и подлинности алкогольных напитков. Цель настоящей работы – изучить химический состав ароматизаторов-имитаторов, а также определить соответствующие процедуры аналитических измерений.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили ароматизаторы, представленные в наборах на рынке пятью различными производителями. Наборы содержали флаконы с ароматизаторами в виде растворов для приготовления алкогольных напитков:

- Коньяк, Чача, Текила (Alcoster, Россия);
- Бренди, Чача (Alcotec, Россия);
- Коньяк, Чача (Elix, Россия);
- Коньяк классический, Чача, Джин-тоник, Ликер молочный (Etol, Словения);
- Вишневый бренди (Магия вкуса, Россия).

Исследовали образцы методами инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (ИК) и газовой хроматографии с масс-селективным детектированием (ГХ-МС). Выбор методов обусловлен высокой информативностью, чувствительностью, а также многочисленными примерами их успешного сочетания при исследовании многокомпонентных систем [9–19]. В частности, ИК-спектроскопия позволяет детектировать исходные термолабильные соединения, а ГХ-МС, напротив, их летучие продукты распада.

ИК-комплекс включал фурье-спектрометр ФТ-801 (ООО НПФ «СИМЕКС», Россия), приставку компании SIMTEX (Россия) для работы в режиме НПВО с оптическим кристаллом из селенида цинка (CVD ZnSe) и программное обеспечение OMNIC (Version 7.0, Thermo Electron Corp., США) для обработки спектров. ИК-измерения проводили при фиксированной относительной влажности воздуха (40 %) и температуре 293 К. Каплю исследуемого образца помещали на кристалл приставки и снимали спектр в диапазоне 4000–550 см⁻¹ с разрешением 4 см⁻¹. Корректировку базовой линии проводили с учетом фонового спектра атмосферы с последующим нормированием шкалы интенсивности поглощения 0–1. После каждого измерения поверхность кристалла приставки НПВО тщательно очищали путем двукратной обработки гексаном,

ацетоном и удаляли остатки растворителей мягкой тканью. Чистоту поверхности кристалла проверяли путем повторной съемки фонового спектра атмосферы и его сравнения с предыдущим.

Хромато-масс-спектрометрический комплекс включал газовый хроматограф Кристалл-5000.2 (Хроматэк, Россия) с колонкой TR-5MS (длина – 30 м, внутренний диаметр – 0,25 мм, фаза: 5 % фенилполисилофениленсилоксан, толщина фазы – 0,25 мкм) (Thermo Fisher Scientific, США) и квадрупольным масс-спектрометрическим детектором ISQ (Thermo Scientific, Германия). Сбор и обработка данных осуществлялись с помощью программного пакета Xcalibur 4.3 (Thermo Fisher Scientific, США). Анализ проводился при следующих условиях: температура инжектора – 190, детектора – 220 °С; программирование температуры термостата колонки – от 60 °С (начальная) до 200 °С (конечная); скорость подъема температуры – 13 °С/мин; время выдержки при начальной температуре – 2 мин, при конечной – 25 мин; газ-носитель – гелий; скорость потока газа-носителя – 1,0 см³/мин; режим ввода пробы – с делением потока (Split 40:1); объем вводимой пробы – 0,001 см³, ионизация электронным ударом – 70 эВ.

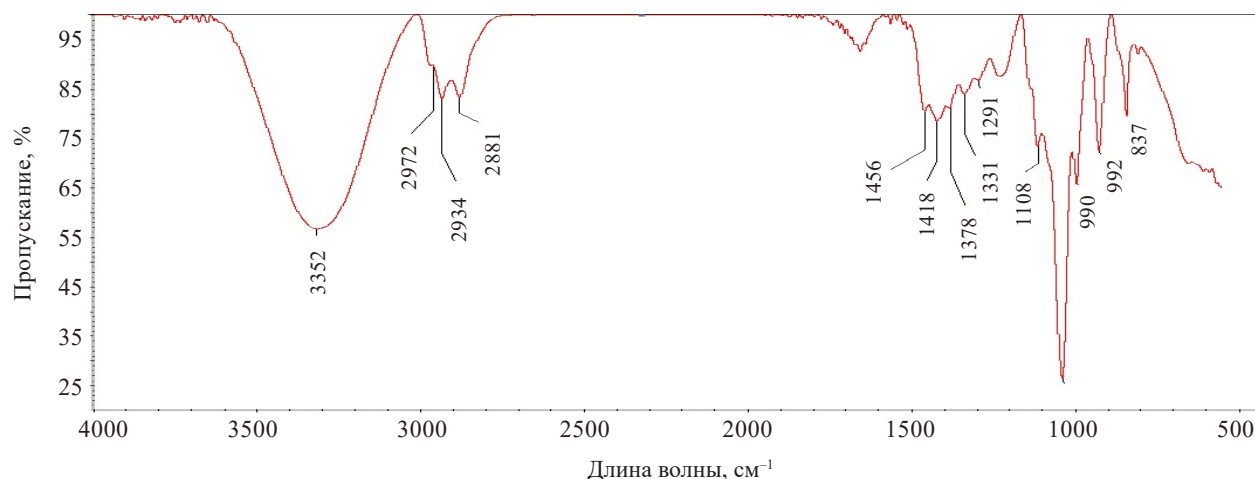
Пробоподготовка образцов проводилась для определения растворителей / носителей и непосредственно ароматообразующих веществ. В первом случае 0,050 см³ раствора образца смешивали с 10 см³ метанола и подвергали измерениям. Во втором – 0,050 см³ раствора образца помещали в вials, добавляли 2 см³ трихлорметана (хлороформа), интенсивно перемешивали и выдерживали в течение 10 мин. Затем водный слой отбрасывали, а хлороформный экстракт трижды промывали порциями по 10 см³ дистиллированной воды и подвергали измерениям.

Идентификацию соединений проводили в процессе анализа ИК-НПВО-спектров, масс-спектров и хроматограмм. ИК-НПВО-спектры обрабатывали с использованием программного обеспечения OMNIC, а масс-спектры – NIST MS Search 2.0 (NIST, США). Процент совпадения экспериментальных масс-спектров с библиотечными (NIST14) составлял не менее 90 %. Хроматографические параметры рассчитывали с использованием калиброванной хроматограммы стандартной смеси n-алканов (раствор дизельного топлива с массовой концентрацией 1 г/100 в n-гексане).

Также использовали: метанол (х.ч., Merck, Германия), n-гексан, трихлорметан (ч.д.а., ООО «Компонент-Реактив», Россия), ацетон, глицерин, пропиленгликоль (ч.д.а., ЗАО «Вектон», Россия).

Результаты и их обсуждение

Исследования с использованием инфракрасной спектроскопии в режиме НПВО (ИК-НПВО). Инфракрасные спектры всех исследованных ароматизаторов обладали значительным сходством по основным полосам поглощения. В качестве примера

Рисунок 1. ИК-НПВО-спектр ароматизатора Бренди (Alcotec) в области 4000–550 cm^{-1} Figure 1. IR-ATR spectrum of brandy flavoring (Alcotec), 4 000–550 cm^{-1}

приведен типичный спектр ароматизатора Бренди (Alcotec) (рис. 1). В так называемой области одинарных связей 4000–2500 cm^{-1} наблюдались интенсивные полосы поглощения 3352 и 1038 cm^{-1} , которые можно отнести к валентным колебаниям связей О–Н и С–О соответственно, а полосы поглощения 2972, 2934 и 2881 cm^{-1} – к валентным колебаниям С–Н в CH_2 - и CH_3 -группах соединений.

В области «отпечатков пальцев» (1750–600 cm^{-1}) основная часть полос поглощения относилась к колебаниям связей О–Н, С–Н и С–С. В таблице 1 приведены типичные значения волновых чисел полос поглощения в спектрах исследуемых образцов, соответствующие колебаниям отдельных групп.

В целом анализ полученных спектров указывает на возможное присутствие в исследуемых образцах многоатомных спиртов – глицерина и пропиленгликоля. В ИК-НПВО-спектре ароматизатора Коньяк (Elix) полосы поглощения глицерина и пропиленгликоля проявлялись в диапазоне волновых чисел 3000–2800 и 1400–700 cm^{-1} (рис. 2).

В ряде образцов (Чача, Коньяк, Текила (Alcostar), Коньяк (Etol)) в спектрах зафиксированы полосы поглощения в области 1716 cm^{-1} , которые можно отнести к колебаниям С=О в сложных эфирах.

Для установления степени сходства полученные ИК-НПВО-спектры были внесены в пользовательскую поисковую библиотеку и обработаны с помощью программного обеспечения OMNIC. В качестве образца сравнения послужил ароматизатор Текила (Alcostar). В таблице 2 приведены результаты обработки спектров ароматизаторов, а также глицерина и пропиленгликоля в зависимости от алгоритмов библиотечного поиска. Для всех ароматизаторов Alcostar, Alcotec, а также ароматизатора Коньяк (Elix) и глицерина при использовании наиболее распространенного алгоритма корреляции совпадения их ИК-НПВО-спектров с образ-

Таблица 1. Отнесение типичных полос поглощения в ИК-НПВО-спектрах исследуемых образцов

Table 1. Attribution of typical absorption bands in IR-ATR spectra for each sample

Волновые числа полос поглощения, cm^{-1}	Отнесение
1456	CH_2 деформационное (ножничное)
1418	CH_2 деформационное (ножничное)
1378	CH_3 деформационное
1331	CH_2 деформационное (всережное)
1291	CH_2 деформационное (крутильное)
1108	CH_2 деформационное (маятниковое)
990	CH_3 деформационное (маятниковое)
922	ОН деформационное
837	С–С валентное

цом сравнения было весьма высоким (показатели превышают 90 %). Сходство ИК-НПВО-спектров для ароматизаторов Коньяк классический, Джин-тоник (Etol) и пропиленгликоля проявлялось в меньшей степени (совпадение 58–73 %). Для остальных образцов ароматизаторов сходство ИК-НПВО-спектров с образцом сравнения, скорее, отсутствовало (совпадение ниже 33 %).

Наибольшие различия в показателях совпадения наблюдались при использовании алгоритма абсолютной производной, придающего повышенное значение небольшим пикам и сдвигам пиков ИК-НПВО-спектров.

Для более тонкой дискриминации подобных спектров используют различные подходы и методы математической обработки аналитических данных [20–25]. Выбор того или иного подхода / метода определяется природой объекта и спецификой решаемой задачи. В нашем случае, в связи с тем, что состав образцов

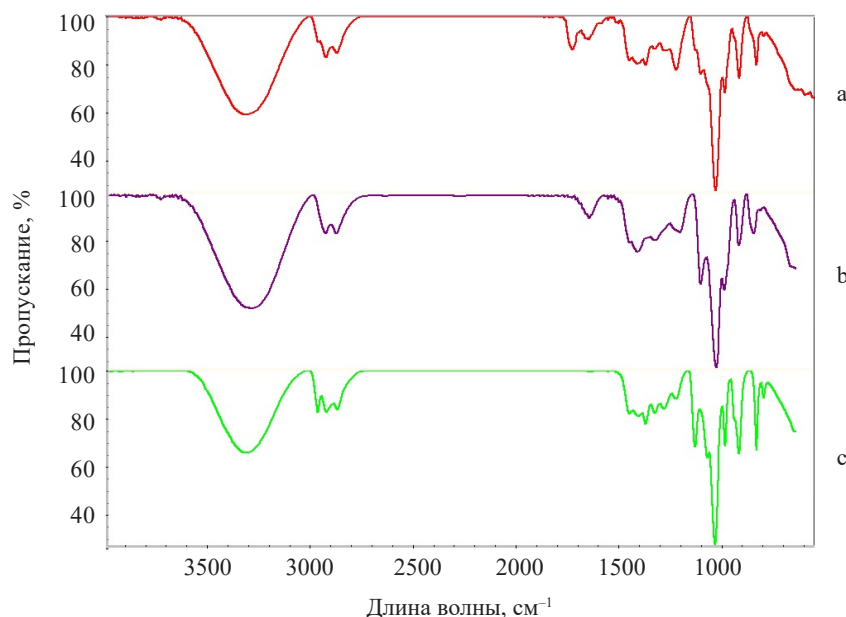


Рисунок 2. ИК-НПВО-спектры ароматизатора «Коньяк» (Elix) (a), глицерина (b), пропиленгликоля (c) в диапазоне частот 4000–550 cm^{-1}

Figure 2. IR-ATR spectra of cognac flavoring (Elix) (a), glycerol (b), and propylene glycol (c), 4 000–550 cm^{-1}

Таблица 2. Показатели совпадения ИК-НПВО-спектров ароматизаторов, глицерина, пропиленгликоля с образцом сравнения Текила (Alcostar) в зависимости от алгоритмов поиска, %

Table 2. Matches of IR-ATR spectra of flavorings, glycerol, and propylene glycol with tequila comparison sample (Alcostar) for different search algorithms, %

Образцы ароматизаторов	Корреляция	Абсолютная разность	Квадрат разности	Абсолютная производная	Квадратная производная
Чача (Alcostar)	98,31	91,60	92,94	88,49	90,85
Коньяк (Alcostar)	98,31	81,31	87,54	88,17	90,84
Глицерин	97,81	73,41	78,44	86,41	89,60
Чача (Alcotec)	96,49	79,83	85,92	84,03	86,88
Бренди (Alcotec)	92,59	61,27	74,58	79,74	81,11
Коньяк (Elix)	91,70	58,91	72,49	79,68	80,06
Коньяк классический (Etol)	73,44	54,87	55,10	62,65	66,06
Пропиленгликоль	62,14	39,57	36,90	61,15	61,92
Джин-тоник (Etol)	58,04	33,21	33,67	58,63	60,83
Чача (Elix)	33,27	38,56	35,81	59,82	59,28
Чача (Etol)	33,27	5,32	5,86	52,06	52,85
Ликер молочный (Etol)	30,83	5,14	5,67	52,13	52,44
Вишневый бренди (Магия вкуса)	30,49	5,32	5,72	52,14	52,38

неизвестен и весьма изменчив, выбран метод главных компонент (PCA), который позволяет формировать группы образцов / кластеров на основе оценки расположения проекций их переменных на плоскости факторов [26].

Для реализации данного метода проводили математическую обработку ИК-НПВО-спектров с помощью программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 10. При этом использовали модель PCA для оценки проекций спектров в факторных координатах на основе показателей поглощения в определенной области длин волн.

В ИК-НПВО-спектрах образцов были выбраны области волновых чисел 3000–2750 cm^{-1} (валентные колебания C–H в CH_2 - и CH_3 -группах) и 1500–800 cm^{-1} (область «отпечатков пальцев»). Таким образом, на факторы 1 и 2 приходилось около 85 % вариативности переменных, поэтому в дальнейшем использовали проекции ИК-НПВО-спектров на плоскости этих факторов с наибольшей информативностью.

В результате обработки данных получили диаграмму проекций ИК-НПВО-спектров анализируемых образцов на плоскости факторов 1 и 2 (рис. 3),

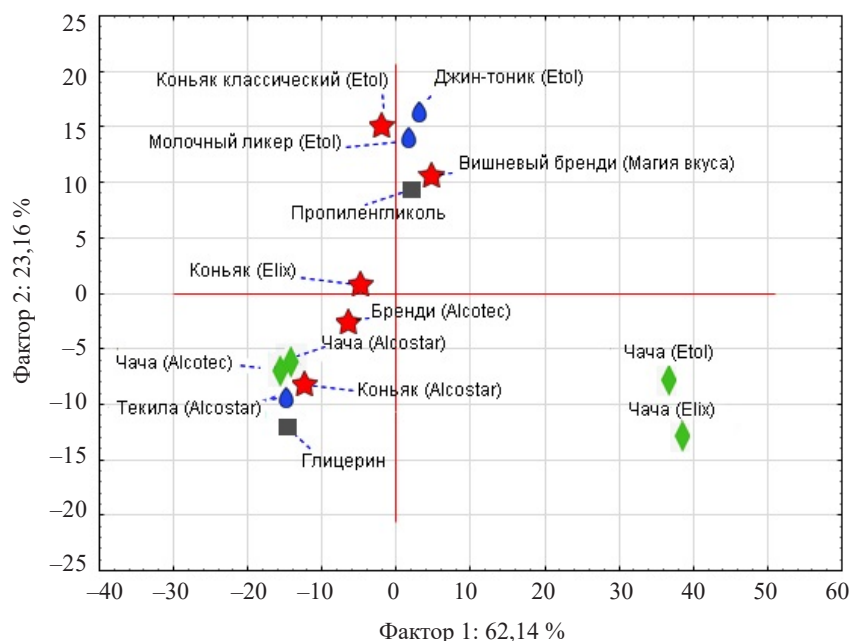


Рисунок 3. Диаграмма проекций на плоскости факторов ИК-спектров образцов ароматизаторов

Figure 3. Factor planes of IR spectra for different flavoring samples

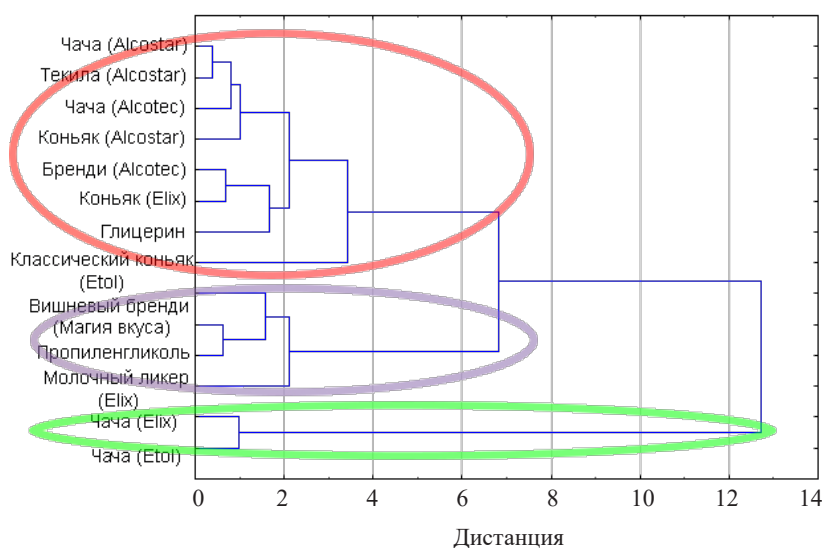


Рисунок 4. Дендрограмма уровней сходства образцов ароматизаторов на основе расчетов Евклидовых расстояний и кластеризации по методу Уорда

Figure 4. Similarity levels for flavoring samples based on Euclidean distance and Ward's method

на которой можно выделить три группы образцов в отдельных кластерах с наибольшим сходством состава. Так, ароматизаторы Джин-тоник, Молочный ликер, Коньяк классический (Etol), Вишневый бренди (Магия вкуса), Коньяк (Elix), в составе которых доминирует пропиленгликоль, образуют группу / кластер в верхней центральной части диаграммы. Ароматизаторы Коньяк, Текила, Чача (Alcostar), Бренди, Чача (Alcotec) с доминированием глицерина входят в кластер, расположенный в нижней левой части диаграммы. Нако-

нец, два образца ароматизатора Чача (Etol, Elix) формируют кластер в правой нижней части диаграммы.

Альтернативным методом визуализации сходства и различия анализируемых объектов (РСА) может служить подход, основанный на расчете Евклидовых расстояний и последующей кластеризации по методу Уорда [27]. В рамках данного подхода проведены необходимые расчеты с целью оптимизации минимальных дисперсий внутри кластеров. На рисунке 4 приведена соответствующая дендрограмма. Образцы

ароматизаторов также распределены по трем группам, в одну из которых входит глицерин, в другую – пропиленгликоль, в третью – два образца ароматизатора Чача. За исключением ароматизатора Коньяк (Elix), полученные данные весьма схожи с результатами PCA (рис. 3).

На основании рисунков 3, 4 и таблицы 2 можно предложить алгоритм первичного диагностического исследования образцов ароматизаторов с неизвестным растворителем / носителем (рис. 5).

На первом этапе снимают ИК-НПВО-спектры образцов ароматизатора с неизвестным растворителем / носителем при использовании пробоподготовки и техники эксперимента. В методе PCA или кластеризации устанавливают оптимальные области волновых чисел и обрабатывают спектры. На основании полученной визуализации проводят более детальное исследование наиболее схожих спектров, например, с использованием программы OMNIC или аналогичной.

Исследования с использованием газовой хроматографии с масс-селективным детектированием (ГХ-МС). В хроматограммах метанольных экстрактов ароматизаторов, наряду с ИК-НПВО, идентифицированными глицерином и пропиленгликолем, проявился триацетин. Для примера приведены хроматограммы по полному ионному току ароматизаторов Коньяк и Текила (Alcostar) (рис. 6).

Для полуколичественной оценки относительных содержаний найденных растворителей в ароматизаторах были проведены расчеты отношений площадей хроматографических пиков индивидуальных компонентов к сумме площадей пиков всех компонентов на соответствующих хроматограммах (табл. 3).

Наряду с растворителями / носителями определяющим показателем качества ароматизатора является компонентный состав ароматообразующих веществ. В частности, данная информация необходима для отнесения продукта к одной из категорий аромати-

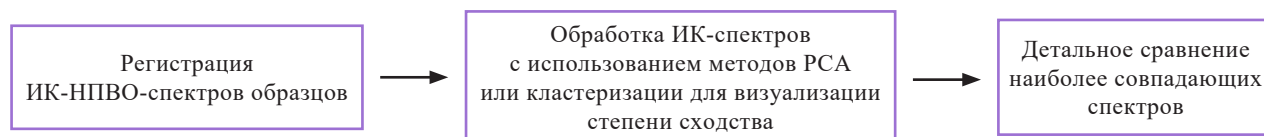


Рисунок 5. Алгоритм первичного диагностического исследования образца ароматизатора с неизвестным растворителем / носителем

Figure 5. Preliminary diagnostic test for a flavoring sample with an unknown solvent / carrier

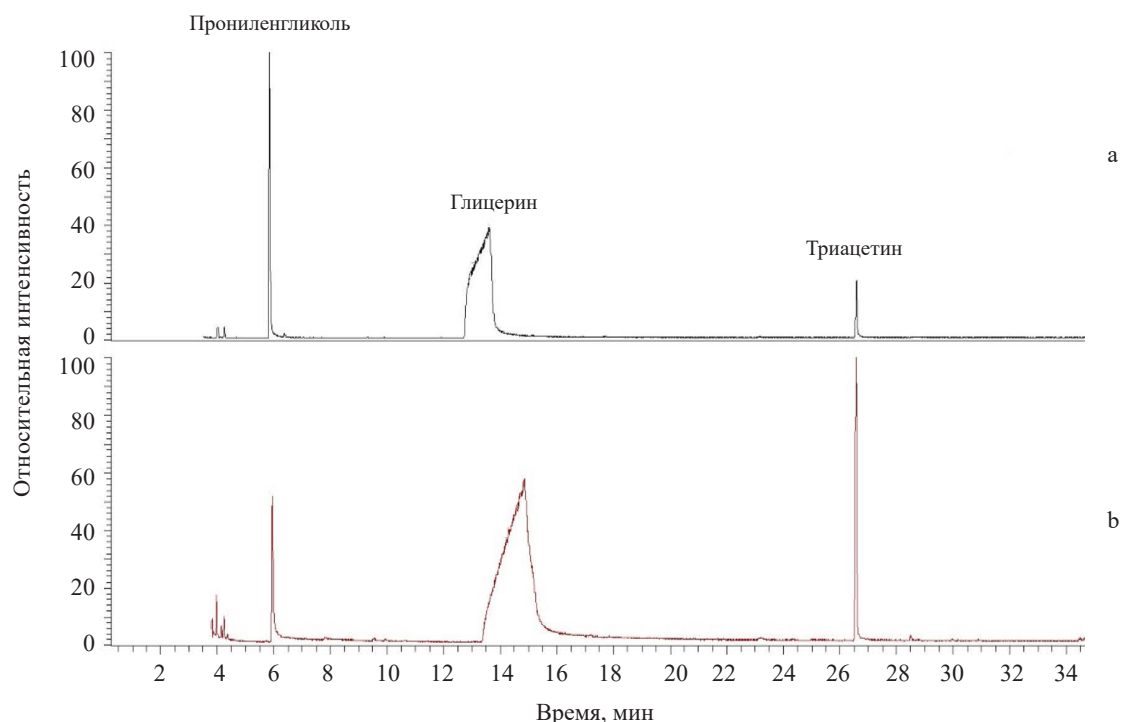


Рисунок 6. Хроматограммы по полному ионному току ароматизаторов Alcostar: Коньяк (a) и Текила (b)

Figure 6. Total ion current for Alcostar flavorings: Cognac (a) and Tequila (b)

Таблица 3. Относительное содержание глицерина, пропиленгликоля и триацетина в ароматизаторах, %

Table 3. Relative content of glycerol, propylene glycol, and triacetin in flavorings, %

Ароматизатор	Глицерин	Пропиленгликоль	Триацетин
Чача (Alcostar)	> 90	10–25	10–25
Коньяк (Alcostar)	> 90	10–25	< 5
Текила (Alcostar)	> 90	< 5	10–25
Бренди (Alcotec)	> 90	25–90	–
Чача (Alcotec)	> 90	25–90	–
Коньяк (Elix)	25–90	> 90	10–25
Чача (Elix)	–	25–90	–
Коньяк (Etol)	–	> 90	< 5
Чача (Etol)	–	> 90	–
Джин-тоник (Etol)	–	> 90	–
Ликер молочный (Etol)	25–90	25–90	–
Вишневый бренди (Магия вкуса)	–	> 90	–

заторов: натуральный или синтетический, в соответствии с ГОСТ 32049-2013, Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 029/2012. Кроме того, в данном случае знание компонентного состава ароматообразующих веществ важно при расследовании инцидентов, связанных с незаконным оборотом алкогольных фальсификатов, и принятии соответствующих мер законодательного регулирования.

В ходе предварительных экспериментов установлено, что предложенная процедура пробоподготовки ароматизаторов для ГХ-МС-исследований позволяет достаточно эффективно извлекать неполярные компоненты ароматообразующих веществ из их смеси с полярными растворителями (глицерин, пропиленгликоль).

В таблице 4 представлены результаты ГХ-МС-идентификации компонентов и полуколичественной оценки их содержания в хлороформных экстрактах ароматизаторов. Органолептические свойства индивидуальных компонентов в таблице 4 сформулированы на основе данных сайтов TGSC Information System, Food safety and quality: JECFA.

Расчет относительной площади пика каждого компонента (S_i^N , %) рассчитывался как процентное отношение площади хроматографического пика данного компонента к сумме площадей всех хроматографических пиков.

Результаты исследований (табл. 4) позволили заключить, что набор и соотношение содержаний ключевых ароматообразующих веществ ни в одном из исследуемых ароматизаторов не совпали с сенсорными профилями их натуральных аналогов [28–36].

В таких натуральных алкогольных напитках, как коньяк, бренди, чача, энантовые эфиры представлены следующими веществами: этилгексаноат, этилгептаноат, этилоктаноат, этилдеcanoат, этилдодеканоат, этилтетрадеканоат, изоамилацетат, этиллинолеат, этил-изобутират, этилизовалериат, изобутилацетат, гексил-ацетат. Их присутствие является результатом этерификации карбоновых кислот в процессах фермента-

ции сула, дистилляции и созревания спиртов. Причем содержание указанных веществ зависит преимущественно от природы виноматериала, технологии брожения и условий перегонки. Среди них этилоктаноат, этилдеcanoат и этилдодеканоат являются характерными компонентами коньяков и присутствуют во всех бренди.

В исследуемых ароматизаторах: Коньяк, Бренди, Чача (Alcostar), Чача (Elix) – соединений из группы энантовых эфиров не обнаружено. В других ароматизаторах: Коньяк (Alcotec), Коньяк (Elix), Вишневый бренди (Магия вкуса) – из вышеуказанного перечня эфиров обнаружены лишь этилдодеканоат, этилтетрадеканоат, этилгексадеканоат.

Схожая картина наблюдалась у низкомолекулярных фенольных альдегидов (ванилин, сиреневый, кониферилловый и синаповый), которые являются маркерными соединениями, указывающими на контакт алкогольного напитка с древесиной дуба. Причем в зависимости от длительности выдержки соотношение низкомолекулярных фенольных альдегидов в бренди менялось, но различия в их содержании не превышали одного порядка. В исследованных ароматизаторах из данной группы соединений присутствовал только ванилин в количестве от 10,6 % (Вишневый бренди, Магия вкуса) до 78,5 % (Коньяк, Elix), который в большинстве случаев являлся доминирующим компонентом. На рисунке 7 приведена хроматограмма по полному ионному току хлороформного экстракта ароматизатора Коньяк классический (Etol).

В целом вкусоароматические показатели большинства исследуемых ароматизаторов определяются относительно небольшим набором из 1–5 веществ, составляющих 70 % и более от общей площади хроматографических пиков компонентов. Так, в ароматизаторах Коньяк (Elix) – 4-гидрокси-3-метоксибензальдегид (ванилин) (78,5 %); Чача (Alcotec) – 3,7-диметил-1,6-октадиен-3-ол и метил-2-аминобензоат (94,4 %); Бренди (Alcotec) – ванилин и этиллаурат (81,7 %); Текила (Alcostar) – 3-метил-1-бутанол, этилдеcanoат,

Таблица 4. Перечень, относительные площади хроматографических пиков (S_i^N , %) и органолептические свойства компонентов ароматообразующих веществ ароматизаторов, идентифицированных с помощью ГХ-МСTable 4. Flavoring agents: list, relative areas of chromatographic peaks (S_i^N , %), and sensory profile, GC-MS

№	Химическое название (IUPAC) идентифицированного компонента (синонимы)	S_i^N , %	Органолептические свойства	
			Аромат	Вкус
Чача (Alcstar)				
1	3-Метил-1-бутанол (изопентильовый спирт, изоамиловый спирт, изоамилол)	2,8	Сивушный, фруктовый, банановый, эфирно-коньячный	Алкольный, коньячный, острый, фруктовый, бананово-патоковый
2	2-(4-Метил-3-циклогексен-1-ил)-2-пропанол (3-циклогексен-1-метанол, α -терпинеол)	0,8	Цитрусово-древесный, с оттенками лимона и лайма	Сосновый, древесный, смолистый, лимонный, лаймовый, с легким мыльным привкусом
3	Этил-4-оксепентаноат (этиллевулат, этил-4-кетовалерат, этил-4-оксавалерат, этилкетовалерат)	0,6	Сладкий, напоминающий гваякол, сливочный, кислый и слегка ванилиновый	Кисло-сладкий, сливочный
4	4-Метил-2-фенил-1,3-диоксолан (бензальдегид пропиленгликоль ацеталь)	0,1	Горького нарцисса, нафтаевый, древесный	Фруктовый, мараскиновой вишни, постенницы лекарственной
5	3,7-Диметил-1,6-октадиен-3-ол (линалоол, линалиловый спирт, β -линалоол)	3,0	Цитрусовый, цветочный, розовый, восковой	Апельсиновый, лимонный, цветочный, восковой, терпкий, древесный
6	Метил-2-аминобензоат (бензойной кислоты, 2-амино-метильовый эфир, метилантранилат)	52,7	Фруктовый, виноградный, затхлый, с цветочно-пудровым нюансом	Сладкий, фруктовый, виноградный, с затхлым ягодным оттенком
7	4-Гидрокси-3-метоксибензальдегид (ванилин)	26,8	Сладкий, ванилиновый, сливочный, фенольный	Ванилина, сладкий, сливочный, пряный, фенольно-молочный
8	Метил-2-(метиламино)бензоат (бензойной кислоты, 2-(метиламино)-метильовый эфир, диметилантранилат)	11,2	Сладкий, фруктовый, похожий на антранилат, с чистым, свежим цветочным нюансом	Фруктовый, виноградный, антранилатоподобный, с древесно-цветочным нюансом
9	5-Гексилдигидро-2(3Н)-фуранон (γ -декалактон)	2,1	Сливочный, лактоничный, восковой, с цитрусово-фруктовым нюансом	Фруктовый, сладкий, сливочный и жирный, с цитрусовым нюансом
Коньяк (Alcstar)				
10	3-Метил-1-бутанол (изопентильовый спирт, изоамиловый спирт, изоамилол)	11,3	Сивушный, фруктовый, банановый, эфирно-коньячный	Алкольный, коньячный, острый, фруктовый, бананово-патоковый
11	Бензальдегид (фенилметаналь, бензойный альдегид)	3,5	Миндальный, фруктовый, пудровый, ореховый	Сладкий, маслянистый, миндальный, вишневыи, ореховый, древесный
12	4-Гидрокси-3-метоксибензальдегид (ванилин)	76,1	Сладкий, ванилиновый, сливочный, фенольный	Ванилина, сладкий, сливочный, пряный, фенольно-молочный
13	5-Гексилдигидро-2(3Н)-фуранон (γ -декалактон)	9,2	Сливочный, лактоничный, восковой, с цитрусово-фруктовым нюансом	Фруктовый, сладкий, сливочный и жирный, с цитрусовым нюансом
Текила (Alcstar)				
14	3-Метил-1-бутанол (изопентильовый спирт, изоамиловый спирт, изоамилол)	21,2	Сивушный, фруктовый, банановый, эфирно-коньячный	Алкольный, коньячный, острый, фруктовый, бананово-патоковый
15	Этиллактат (этил-2-гидроксипропаноат, 2-гидроксипропановой кислоты этиловый эфир)	3,6	Сладкий, фруктовый, кисловатый, эфирный	Сладкий, фруктовый, сливочный, ананасовый, с карамельно-коричным оттенком
16	1-Гексанол (1-гексильовый спирт, гексан-1-ол)	3,1	Острый, эфирный, сивушно-масляный, фруктово-алкольный	Фруктовый, с оттенком яблочной кожуры
17	Метил-(2Е)-нон-2-еноат (2-ноненовой кислоты, метильовый эфир, (Е)-метил транс-2-ноненоат)	3,6	Фруктовый, дынный	Дыни
18	Этилдеcanoат (декановой кислоты этиловый эфир, каприловой кислоты этиловый эфир)	20,3	Восковой, фруктовый, яблочный	Восковой, фруктовый, сладкого яблока

Продолжение таблицы 4

№	Химическое название (IUPAC) идентифицированного компонента (синонимы)	S_i^N , %	Органолептические свойства	
			Аромат	Вкус
19	4-Гидрокси-3-метоксибензальдегид (ванилин)	10,1	Сладкий, ванилиновый, сливочный, фенольный	Ванилина, сладкий, сливочный, пряный, фенольно-молочный
20	3,7-Диметил-6-октен-1-ил пропионат (цитронеллил пропионат, 6-октен-1-ол, 3,7-диметил-пропаноат)	3,8	Цветочный, восковой, цитрусовый	Цветочный, восковой, розово- цитрусовый, с фруктовыми нюансами
21	Этиллаурат (этиловый эфир додекановой кислоты)	22,1	Восковой, мыльный, ромовый, со сливочно-цветочным нюансом	Восковой, мыльный, цветочный, со сливочно-молочным и фруктовым нюансом
22	Этилмиристат (тетрадекановой кислоты этиловый эфир, миристиновой кислоты этиловый эфир)	7,8	Восковой	Сладкий, восковой, сливочный
23	Этилпальмитат (гексадекановой кислоты этиловый эфир, пальмитиновой кислоты этиловый эфир, этилгексадеканоат)	4,5	Восковой, фруктовый, сливочный, молочный	Восковой, сливочный, молочный, маслянистый, ванилиновый
Бренди (Alcotec)				
24	1-Гексанол (1-гексиловый спирт, гексан-1-ол)	2,5	Эфирный, сивушно-масляный, фруктово-алкогольный	Фруктовый, с оттенком яблочной кожуры, маслянистый
25	4-Гидрокси-3-метоксибензальдегид (ванилин)	64,9	Сладкий, ванилиновый, сливочный, фенольный	Ванилина, сладкий, сливочный, пряный, фенольно-молочный
26	Этиллаурат (этиловый эфир додекановой кислоты)	16,8	Восковой, мыльный, ромовый, со сливочно-цветочным нюансом	Восковой, мыльный, цветочный, со сливочно-молочным и фруктовым нюансом
27	2-Метокси-4-(4-метил-1,3- диоксолан-2-ил)фенол (ванилин пропиленгликоляцеталь)	3,8	Ванилиновый, пудровый, с оттенками какао	Сладкой ванили, со сливочными и слегка фенольными нюансами
28	Этилмиристат (тетрадекановой кислоты этиловый эфир, миристиновой кислоты этиловый эфир)	6,6	Восковой	Сладкий, восковой, сливочный
29	Этилпальмитат (гексадекановой кислоты этиловый эфир, пальмитиновой кислоты этиловый эфир, этилгексадеканоат)	1,6	Восковой, фруктовый, сливочный, молочный	Восковой, сливочный, молочный, маслянистый, ванилиновый
Чача (Alcotec)				
30	Этилбутират (бутановой кислоты этиловый эфир)	1,5	Фруктовый	Фруктовый, яблочный, эфирный, сладкий, бодрящий
31	(3Z)-3-Гексен-1-ол (3-гексен-1-ол, (Z)-, цис-гекс-3-ен-1-ол, спирт листьев)	1,0	Травянистый, похожий на кожуру дыни, с острой свежестью	Фруктовый, свежий, сырой, с острой глубиной
32	1-Гексанол (1-гексиловый спирт, гексан-1-ол)	0,6	Эфирный, сивушно-масляный, фруктово-алкогольный	Фруктовый, с оттенком яблочной кожуры, маслянистый
33	(3Z)-3-Гексен-1-ил ацетат (гексен-1-ол, ацетат, цис-3-гексенил ацетат)	0,5	Сладко-фруктовый, с нюансами яблока, груши и дыни	Яблока и груши, со свежими тропическими нюансами
34	4-Гидрокси-2,5-диметил-3(2H)- фуранон (диметилгидрокси фуранон, фуранеол)	1,2	Карамельный, клубничный, сахарный, сладкой ваты	Карамели, сладкой ваты, жженого, коричного, кленового сахара
35	3,7-Диметил-1,6-октадиен-3-ол (линалоол, линалиловый спирт, β -линалоол)	14,2	Цитрусовый, цветочный, розовый, восковой	Апельсиновый, лимонный, цветочный, восковой, терпкий, древесный
36	Этиллаурат (этил додецилат, этиловый эфир додекановой кислоты)	0,3	Восковой, мыльный, ромовый, со сливочно-цветочным нюансом	Восковой, мыльный, цветочный, со сливочно-молочным и фруктовым нюансом

Продолжение таблицы 4

№	Химическое название (IUPAC) идентифицированного компонента (синонимы)	S_i^N , %	Органолептические свойства	
			Аромат	Вкус
37	Метил-2-аминобензоат (бензойной кислоты, 2-амино-метиловый эфир, метилантранилат)	80,2	Фруктовый, виноградный, затхлый, с цветочно-пудровым нюансом	Сладкий, фруктовый, виноградный, с затхлым ягодным оттенком
38	Метил-2-ацетамидобензоат (бензойной кислоты, 2-ацетиламино-метиловый эфир, 2-ацетиламинобензойной кислоты, метиловый эфир, ацетил метилантранилат)	0,5	Фруктовый, клубничный, пудровый	Клубнично-ягодный, вишневый, апельсиновый, фенольно-пудровый
Чача (Elix)				
39	3-Метил-1-бутанол (изопентиловый спирт, изоамиловый спирт, изоамилол)	2,5	Сивушный, фруктовый, банановый, эфирно-коньячный	Алкогольный,
40	Этилбутират (бутановой кислоты этиловый эфир)	33,4	Фруктовый	Фруктовый, яблочный, эфирный, сладкий, бодрящий
41	(3Z)-3-Гексен-1-ил ацетат (гексен-1-ол, ацетат, цис-3-гексенил ацетат)	2,7	Сладко-фруктовый, с нюансами яблока, груши и дыни	Яблока и груши, со свежими тропическими нюансами
42	3,7-Диметил-1,6-октадиен-3-ол (линалоол, линалиловый спирт, β -линалоол)	10,9	Цитрусовый, цветочный, розовый, восковой	Апельсиновый, лимонный, цветочный, восковой, терпкий, древесный
43	Метил-2-аминобензоат (бензойной кислоты, 2-амино-метиловый эфир)	50,5	Фруктовый, виноградный, затхлый, с цветочно-пудровым нюансом	Сладкий, фруктовый, виноградный, с затхлым ягодным оттенком
Коньяк (Elix)				
44	Этил-(2S)-2-гидроксипропаноат (пропановой кислоты, 2-гидрокси-этиловый эфир, (S), (S)-2-гидроксипропановой кислоты этиловый эфир, (S)-этил-2-гидроксипропаноат)	0,8	Фруктовый, кисловатый, эфирный, с коричневым нюансом	Сладкий, фруктовый, сливочный, ананасовый, с карамельно-коричневым оттенком
45	2-Гидроксипропил ацетат (1,2-пропандиол, 1-ацетат)	1,5	Слабо выраженный спиртовой	Мягкий маслянистый
46	Бензальдегид (фенилметаналь, бензойный альдегид)	1,0	Миндальный, фруктовый, пудровый, ореховый	Сладкий, маслянистый, миндальный, вишневый, ореховый, древесный
47	4-Метил-2-фенил-1,3-диоксолан (бензальдегид пропиленгликольацеталь)	1,4	Горького нарцисса, нафталевый, древесный	Фруктовый, мараскиновой вишни, постенницы
48	4-Гидрокси-3-метоксибензальдегид (ванилин)	78,5	Сладкий, ванилиновый, сливочный, фенольный	Ванилина, сладкий, сливочный, пряный, фенольно-молочный
49	5-Гексилдигидро-2(3H)-фуранон (γ -декалактон)	0,3	Сливочный, лактоничный, восковой, с цитрусово-фруктовым нюансом	Фруктовый, сладкий, сливочный и жирный, с цитрусовым нюансом
50	6-Пентилтетрагидро-2H-пиран-2-он (δ -декалактон)	0,8	Маслянистый, фруктовый, молочный	Маслянистый, кокосовый, молочный
51	Этиллаурат (этиловый эфир додекановой кислоты)	4,2	Восковой, мыльный, ромовый, со сливочно-цветочным нюансом	Восковой, мыльный, цветочный, со сливочно-молочным и фруктовым нюансом
52	5-(4-Метил-1,3-диоксолан-2-ил)-1,3-бензодиоксол (гелиотропин PG ацеталь, пиперональ пропиленгликольацеталь)	0,6	Вишневый, ванилиновый, черешневой косточки, сливочный, с коричневыми нюансами	Вишневый, ванилиновый, пряный
53	2-Метокси-4-(4-метил-1,3-диоксолан-2-ил) фенол (ванилин пропиленгликольацеталь)	3,0	Ванилиновый, пудровый, с оттенками какао	Сладкой ванили, со сливочными и слегка фенольными нюансами
54	Этилмиристат (тетардекановой кислоты этиловый эфир, миристиновой кислоты этиловый эфир)	2,3	Восковой	Сладкий, восковой, сливочный

Продолжение таблицы 4

№	Химическое название (IUPAC) идентифицированного компонента (синонимы)	S_i^N , %	Органолептические свойства	
			Аромат	Вкус
55	Этилпальмитат (гексадекановой кислоты этиловый эфир, пальмитиновой кислоты этиловый эфир, этилгексадеканат)	1,4	Восковой, фруктовый, сливочный, молочный	Восковой, сливочный, молочный, маслянистый, ванилиновый
Чача (Etol)				
56	4-Метил-2-фенил-1,3-диоксолан (бензальдегид пропиленгликоляацеталь)	1,4	Горького нарцисса, нафталевый, древесный	Фруктовый, мараскиновой вишни, постенницы
57	3-Метил-1-бутанол (изопентиловый спирт, изоамилол)	6,0	Сивушный, фруктовый, банановый, эфирно-коньячный	Алкогольный, коньячный, острый, фруктовый, бананово-патоковый
58	Этилбутират (бутановой кислоты этиловый эфир)	32,9	Фруктовый	Фруктовый, яблочный, эфирный, сладкий, бодрящий
59	(3Z)-3-Гексен-1-ол (3-гексен-1-ол, (Z)-, цис-гекс-3-ен-1-ол, спирт листьев)	1,8	Травянистый, похожий на кожуру дыни, с острой свежестью	Фруктовый, свежий, сырой, с острой глубиной
60	1-Гексанол (1-гексиловый спирт, гексан-1-ол)	1,6	Эфирный, сивушно-масляный, фруктово-алкогольный	Фруктовый, с оттенком яблочной кожуры, маслянистый
61	(3Z)-3-Гексен-1-ил ацетат (гексен-1-ол, ацетат, цис-3-гексенил ацетат)	3,5	Сладко-фруктовый, с нюансами яблока, груши и дыни	Яблока и груши, со свежими тропическими нюансами
62	3,7-Диметил-1,6-октадиен-3-ол (линалоол, линалиловый спирт, β -линалоол)	10,8	Цитрусовый, цветочный, розовый, восковой	Апельсиновый, лимонный, цветочный, восковой, терпкий, древесный
63	Метил-2-аминобензоат (бензойной кислоты, 2-амино-метилового эфира, метилантранилат)	41,9	Фруктовый, виноградный, затхлый, с цветочно-пудровым нюансом	Сладкий, фруктовый, виноградный, с затхлым ягодным оттенком
Молочный ликер (Etol)				
64	Этилбутират (бутановой кислоты этиловый эфир)	0,8	Фруктовый	Фруктовый, яблочный, эфирный, сладкий, бодрящий
65	Этил-4-оксопентаноат (этиллевулат, этил-4-кетовалерат, этил-4-оксовалерат, этил ацетилпропаноат, этилкетовалерат)	1,9	Сладкий, напоминающий гваякол, сливочный, кислый и слегка ванилиновый	Кисло-сладкий, сливочный
66	Диэтилмалонат (пропандиовой кислоты, диэтиловый эфир)	5,3	Яблочно-фруктовый	Сладкий, фруктовый, с нюансами яблока и ананаса
67	Этилгептаноат (гептановой кислоты этиловый эфир)	2,0	Фруктовый, ананасовый, банановый, ягодный, коньячный, эфирный	Фруктовый, ананасовый, бананово-клубничный, с пряным, маслянистым оттенком
68	Этил 3-(2,4-диметил-1,3-диоксолан-2-ил)пропаноат (1,3-диоксолан-2-пропановой кислоты 2,4-диметил-, этиловый эфир)	2,8	Фруктовый, ананасовый, банановый, ягодный, коньячный	Фруктовый, ананасовый, бананово-клубничный, с пряным, маслянистым нюансом
69	Эфир бутановой кислоты с бутиллактатом (бутановой кислоты 2-бутоксид-1-метил-2-оксоэтиловый эфир)	0,1	Молочный, сырный, маслянистый, с фруктовым оттенком	Кислый, сырный, молочный, сливочный, с фруктовым оттенком
70	4-Гидрокси-3-метоксибензальдегид (ванилин)	54,3	Сладкий, ванилиновый, сливочный, фенольный	Ванилина, сладкий, сливочный, пряный, фенольно-молочный
71	2-Метокси-4-(4-метил-1,3-диоксолан-2-ил)фенол (ванилин пропиленгликоль ацеталь)	11,6	Ванилиновый, пудровый, с оттенками какао	Сладкой ванили, со сливочными и слегка фенольными нюансами
72	6-Пентилтетрагидро-2Н-пиран-2-он (δ -декалактон)	8,9	Маслянистый, фруктовый, молочный	Маслянистый, кокосовый, молочный
Классический коньяк (Etol)				
73	Пропилацетат (уксусной кислоты н-пропиловый эфир, н-пропилацетат)	0,4	Сивушный, амилового спирта	Эфирный, фруктовый, банановый, медовый

Продолжение таблицы 4

№	Химическое название (IUPAC) идентифицированного компонента (синонимы)	S_i^N , %	Органолептические свойства	
			Аромат	Вкус
74	3-Метил-1-бутанол (изопентилловый спирт, изоамиловый спирт, изоамилол)	1,3	Сивушный, фруктовый, банановый, эфирно-коньячный	Алкольный, коньячный, острый, фруктовый, бананово-патоковый
75	Бутилацетат (уксусной кислоты бутиловый эфир)	0,6	Тропический, банановый, конфетный	Острый, фруктовый, банановый
76	1-Гидроксиацетон (1-гидрокси-2-пропанон)	3,6	Карамельный, эфирный	Сладкий, подгоревший
77	1,2-пропандиол диацетат (1,2-пропандиол, 1,2-диацетат, 1,2-пропиленгликоль диацетат)	1,1	Фруктовый, уксусный	Горько-сладкий
78	2-Фенилэтил 3-метилбутаноат (бутановой кислоты, 3-метил-, 2-фенилэтиловый эфир)	0,6	Фруктовый, похожий на спелый ананас, с оттенками яблока и черники	Сладкий, фруктовый, ананасовый, с оттенками меда, ягод и персика
79	1,3-бензодиоксол-5-карбальдегид (пиперональ, гелиотропин)	1,3	Вишневый, ванилиновый, черешневой косточки	Вишневый, ванилиновый, с пряностями
80	4-Гидрокси-3-метоксибензальдегид (ванилин)	74,0	Сладкий, ванилиновый, сливочный, фенольный	Ванилина, сладкий, сливочный, пряный, фенольно-молочный
81	3-Фенилпроп-2-енилацетат (циннамилацетат)	0,4	Цветочный, коричный, пряный, эфирный и пудровый, с розовым оттенком	Сладкий, пряный, цветочный, корицы и меда
82	5-Гексилдигидро-2(3H)-фуранон (γ -декалактон)	3,5	Сливочный, лактоничный, восковой, с цитрусово-фруктовым нюансом	Фруктовый, сладкий, сливочный и жирный, с цитрусовым нюансом
83	6-Пентилтетрагидро-2H-пиран-2-он (δ -декалактон)	1,1	Маслянистый, фруктовый, молочный	Маслянистый, кокосовый, молочный
84	2-Метокси-4-(4-метил-1,3-диоксолан-2-ил)фенол (ванилин пропиленгликоляацеталь)	2,8	Ванилиновый, пудровый, с оттенками какао	Сладкой ванили, со сливочными и слегка фенольными нюансами
Джин-тоник (Etol)				
85	2-Метил-1,3-диоксан (1,3-диоксан, 2-метил-, 2-метил-1,3-диоксациклогексан)	0,9	Карамельный	Маслянистой карамели
86	2,2,4-триметил-1,3-диоксолан (2,2,4-триметил-1,3-диоксациклопентан)	1,1	Земляной, затхлый, сырой, картофельно-томатный	Землистый, растительно-затхлый, с томатно-картофельными нюансами
87	Диэтилкарбонат (угольной кислоты диэтиловый эфир)	0,3	—	—
88	Бензальдегид (фенилметаналь, бензойный альдегид)	1,0	Миндальный, фруктовый, пудровый, ореховый	Сладкий, маслянистый, миндальный, вишневый, ореховый, древесный
89	Фенилметанол (бензиловый спирт)	54,6	Цветочный, фруктовый, с химическими нюансами	Химический, фруктовый, с бальзамическими нюансами
90	2-[(2S,5S)-5-Метил-5-винилтетрагидро-2-фуранил]-2-пропанол (оксид транс-линалоола)	0,6	Древесный, цветочный, терпкий	Древесный, ферментированный, травяной, фруктово-ягодный
91	3,7-Диметил-1,6-октадиен-3-ол (линалоол, линалиловый спирт, β -линалоол)	11,5	Цитрусовый, цветочный, розовый, восковой	Апельсиновый, лимонный, цветочный, восковой, терпкий, древесный
92	Триметилбисцикло[2.2.1]гептан-2-ол (бисцикло[2.2.1]гептан-2-ол, 1,3,3-триметил-, (1R-эндо)-, (+)-фенхол, 1,3,3-триметил-2-норборнано-2-ол)	0,6	Древесный, камфорно-борнеоловой сосны, лимонный	Камфорный, охлаждающий, мятно-земляного перегноя
93	4-Изопропил-1-метил-3-циклогексан-1-ол (Циклогексано-1-метил-4-(1-метилэтил)-)	1,2	Древесный, затхлый	—

Продолжение таблицы 4

№	Химическое название (IUPAC) идентифицированного компонента (синонимы)	S_i^N , %	Органолептические свойства	
			Аромат	Вкус
94	(1R)-1-Изопропил-4-метил-3-циклогексен-1-ол (3-циклогексен-1-ол, 4-метил-1-(1-метилэтил)-, (R)-, p-мент-1-ен-4-ол, (R)-(-)-, (-)-1-изопропил-4-метил-3-циклогексен-1-ол	8,7	Травяной, землистый	–
95	2-(4-Метил-3-циклогексен-1-ил)-2-пропанол (3-циклогексен-1-метанол, α -терпинеол)	8,7	Цитрусово-древесный, с оттенками лимона и лайма	Сосновый, древесный, смолистый, лимонный, лаймовый, с легким мыльным привкусом
96	(5S)-5-Изопропенил-2-метил-2-циклогексен-1-он (2-циклогексен-1-он, 2-метил-5-(1-метилэтил)-, (S)-, (+)-(S)-карвон)	1,6	Мяты и лакрицы	–
97	4-Метил-2-фенил-1,3-диоксолан (бензальдегид пропиленгликоляцеталь)	1,6	Горького нарцисса, нафталевый, древесный	Фруктовый, мараскиновой вишни, постенницы лекарственной
98	Метил-3-фенил-2-пропеноат (2-пропеновая кислота, 3-фенил-, метиловый эфир)	1,4	Клубнично-вишневый, с корицей	Бальзамический, пряный фруктовый, манго, папайи, вишни
99	5-Гексилдигидро-2(3H)-фуранон (γ -декалактон)	1,4	Сливочный, лактоничный, восковой, с цитрусово-фруктовым нюансом	Фруктовый, сладкий, сливочный и жирный, с цитрусовым нюансом
100	(2E)-7-Этокси-3,7-диметил-2-октен-1-ол (2-октен-1-ол, 7-этокси-3,7-диметил-, (E)-)	0,7	Цветочный, розовый, фруктовый, похожий на цитронеллу, с цитрусовым оттенком	Цветочный, розовый, восковой, с фруктово-персиковым оттенком
101	Этиллаурат (этиловый эфир додекановой кислоты)	0,6	Восковой, мыльный, ромовый, со сливочно-цветочным нюансом	Восковой, мыльный, цветочный, со сливочно-молочным и фруктовым нюансом
102	{[(3,7-Диметил-1,6-октадиен-3-ил)окси]метил} бензол, [(3R)-3,7-диметил-окт-6-енокси]метилбензол	0,8	Цитрусовый, апельсиновый, цветочный, розовый, восковой	Цитрусовый, апельсиновый, лимонный, цветочный, восковой, древесный
103	3,7,7-Триметилбисцикло[4.1.0]гепт-3-ен (3-карен)	0,4	Цитрусовый, травяной, древесный, сосновый, смолистый кипарисовый	Цитрусовый, сосновый, травяной, смолистый перечный, можжевелевый
Черри бренди (Магия вкуса)				
104	2-Метил-1,3-диоксан (1,3-диоксан, 2-метил-, 2-метил-1,3-диоксоциклогексан)	0,8	Ванилиновый, пудровый, с оттенками какао	Сладкой ванили, со сливочными и слегка фенольными нюансами
105	Этиллактат (этил-2-гидроксипропаноат, 2-гидроксипропановой кислоты этиловый эфир)	1,7	Сладкий, фруктовый, кисловатый, эфирный	Сладкий, фруктовый, сливочный, ананасовый, с карамельно-коричным оттенком
106	3-Метил-1-бутанол (изопентиловый спирт, изоамиловый спирт, изоамилол)	1,3	Сивушный, фруктовый, банановый, эфирно-коньячный	Алкогольный, коньячный, острый, фруктовый, бананово-патоковый
107	Изобутилацетат (уксусной кислоты 2-метилпропиловый эфир)	1,1	Фруктовый, с яблочно-банановым оттенком	Сладкий, фруктовый, с ноткой банана
108	2-Фуральдегид (фурфураль)	0,8	Древесный, карамельный, с легким фенольным оттенком	Сладкий, древесный, ореховый, карамельный, с оттенком жженой терпкости
109	Этил-2-метилбутаноат (бутановой кислоты, 2-метил-, этиловый эфир)	1,3	Фруктовый, эфирный, со свежими тропическими оттенками	Фруктовый, ноты манго и вишни, ягодный
110	(3Z)-3-Гексен-1-ол (3-гексен-1-ол, (Z)-, цис-гекс-3-ен-1-ол, спирт листьев)	1,0	Травянистый, похожий на кожуру дыни, с острой свежестью	Фруктовый, свежий, сырой, с острой глубиной
111	1-Гексанол (1-гексиловый спирт, гексан-1-ол)	0,3	Эфирный, сивушно-масляный, фруктово-алкогольный	Фруктовый, с оттенком яблочной кожуры, маслянистый

Продолжение таблицы 4

№	Химическое название (IUPAC) идентифицированного компонента (синонимы)	S_i^N , %	Органолептические свойства	
			Аромат	Вкус
112	3-Метилбутил ацетат (1-бутанол, 3-метил-, ацетат)	0,5	Фруктовый, с оттенком спелой вишни, банановый	Сладкий фруктовый, напоминающий банан, с оттенком спелой зелени
113	2-Бутил-4-метил-1,3-диоксолан (1,3-диоксолан, 2-бутил-4-метил-)	0,8	Ореховый	—
114	Бензальдегид (фенилметаналь, бензойный альдегид)	39,7	Миндальный, фруктовый, пудровый, ореховый	Сладкий, маслянистый, миндальный, вишневый, ореховый, древесный
115	3,7-Диметил-1,6-октадиен-3-ол (линалоол, линалиловый спирт, β -линалоол)	2,0	Цитрусовый, цветочный, розовый, восковой	Апельсиновый, лимонный, цветочный, восковой, терпкий, древесный
116	1-Изопропил-1,2-циклопропандикарбоновая кислота ((+)-1-изопропилциклопропан-транс-1, транс-2-дикарбоновая кислота)	2,0	Опилок из красного дерева, пропитанных сыростью	—
117	Этилоктаноат (октановой кислоты этиловый эфир)	1,2	Восковой, затхлый, ананасовый и фруктовый, со сливочно-молочным нюансом	Сладкий, восковой, фруктово-ананасовый, со сливочными, жирными, грибными и коньячными нотками
118	4-Метоксибензальдегид (бензальдегид, 4-метокси-)	3,3	Пудровый, ванилиновый, анисовый, древесный, сливочный, с пряным оттенком	Сливочный, пудровый, ванилиновый, пряный, с типичным вкусом зефира
119	3-фенилакриловый альдегид (2-пропеналь, 3-фенил-, коричный альдегид)	4,8	Пряный, альдегидно-медовый, коричне-смолистый	Пряный, с корицей и коричной корой
120	1,3-Бензодиоксол-5-карбальдегид (пиперональ, гелиотропин)	1,2	Ноты вишни, ванили, черешневой косточки и сливочный вкус, с коричневыми нюансами	Бензальдегид, вишня, ваниль и пряности
121	4-аллил-2-метоксифенол (эвгенол)	1,6	Пряный, похожий на гвоздику, древесный, с фенольными пикантными нотами ветчины и бекона, нюансами корицы и душистого перца	Сладкий, пряной гвоздики, с фенольными и древесными оттенками
122	Гексил гексаноат (гексановой кислоты гексиловый эфир)	2,0	Восковой, фруктовый, с тропическими и ягодными нотами	Сладкий, фруктовый, с тропическими нотами
123	Этилдеcanoат (декановой кислоты этиловый эфир, каприловой кислоты этиловый эфир)	1,8	Восковой, фруктовый, яблочный	Восковой, фруктовый, сладкого яблока
124	4-Гидрокси-3-метоксибензальдегид (ванилин)	10,6	Сладкий, ванилиновый, сливочный, фенольный	Ванилина, сладкий, сливочный, пряный, фенольно-молочный
125	Метил-2-(метиламино)бензоат (бензойной кислоты, 2-(метиламино)-метиловый эфир, диметилантранилат)	0,5	Сладкий, фруктовый, похожий на антранилат, с чистым, свежим цветочным нюансом	Фруктовой виноградной кожицы, антранилатоподобный, с древесно-цветочным нюансом
126	5-Метил-2-фенил-2-гексеналь (5-метил-2-фенил-2-гексеналь)	3,9	Альдегидный, фруктово-маслянистый, какао-ореха	Горького какао, кофе, ореха, меда
127	3-Фенил-2,6-пиперидиндион (2,6-пиперидиндион, 3-фенил-)	1,1	Альдегидный, цветочный, дынный	Зелени, дыни, цитрусовых фруктов
128	5-Гексилдигидро-2(3H)-фуранон (γ -декалактон)	1,3	Сливочный, лактоничный, восковой, с цитрусово-фруктовым нюансом	Фруктовый, сладкий, сливочный и жирный, с цитрусовым нюансом
129	Этиллаурат (этиловый эфир додекановой кислоты)	5,9	Восковой, мыльный, ромовый, со сливочно-цветочным нюансом	Восковой, мыльный, цветочный, со сливочно-молочным и фруктовым нюансом

Окончание таблицы 4

№	Химическое название (IUPAC) идентифицированного компонента (синонимы)	S_i^N , %	Органолептические свойства	
			Аромат	Вкус
130	5-(4-Метил-1,3-диоксолан-2-ил)-1,3-бензодиоксол (гелиотропин PG ацеталь, пиперональ пропиленгликольацеталь)	0,6	Вишневый, ванилиновый, черешневой косточки, сливочный, с коричневыми нюансами	Вишневый, ванилиновый, пряный
131	Этилмирицилат (тетрадекановой кислоты этиловый эфир, миристиновой кислоты этиловый эфир)	1,7	Восковой	Сладкий, восковой, сливочный

Примечание: Органолептические свойства индивидуальных компонентов сформулированы на основе данных сайтов TGSC Information System (www.thegoodscentscompany.com), Food safety and quality: JECFA (www.fao.org).

Note: Sensory profiles of individual components were based on the TGSC Information System (www.thegoodscentscompany.com), Food safety and quality: JECFA (www.fao.org) websites.

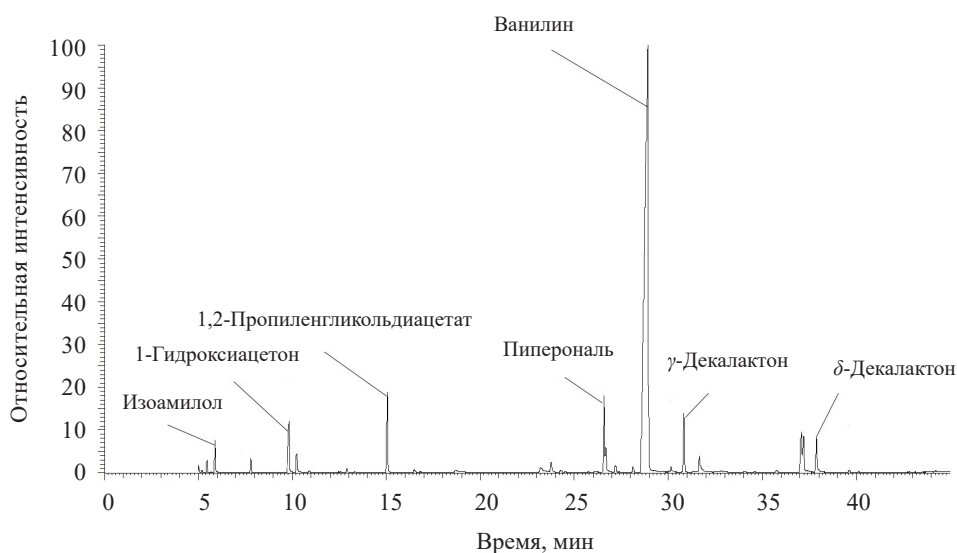


Рисунок 7. Хроматограмма по полному ионному току хлороформного экстракта ароматизатора
Коньяк классический (Etol)

Figure 7. Total ion current for chloroform extract of cognac flavoring (Etol)

этиллаурат и ванилин (73,7 %); Джин-тоник (Etol) – фенилметанол, 3,7-диметил-1,6-октадиен-3-ол, (1R)-1-изопропил-4-метил-3-циклогексен-1-ол и 2-(4-метил-3-циклогексен-1-ил)-2-пропанол (83,5 %). Следует отметить, что доминирование одного или ограниченного числа вкусоароматических веществ у натуральных алкогольных напитков встречается крайне редко. Как правило, это смеси из десятков или сотен различных веществ [37].

Выводы

В результате проведенного исследования получены данные о составе носителей / растворителей и ароматообразующих веществ ряда ароматизаторов, которые используют в домашних условиях для приготовления алкогольных напитков (коньяк, бренди,

текила, чача, джин-тоник, ликер), имитирующих известные бренды.

В качестве носителей / растворителей в ароматизаторах выступают пропиленгликоль, глицерин и триацетин в разных количествах. Предложен алгоритм первичного диагностического исследования образцов ароматизаторов с неизвестным растворителем путем математической обработки ИК-НПВО-спектров.

Методом ГХ-МС идентифицированы соединения, входящие в состав ароматообразующих веществ исследуемых образцов. Перечень и содержание ключевых ароматообразующих веществ ни в одном из исследуемых ароматизаторов не совпадают с сенсорными профилями их натуральных аналогов. Установлены вещества, определяющие органолептический профиль ароматизаторов.

Полученные наработки по проведению ИК-НПВО-и ГХ-МС-процедур, равно как и массив данных по компонентному составу ароматизаторов, могут представлять интерес для виноделов, сотрудников экспертных подразделений и потенциальных потребителей продукции.

Критерии авторства

Все авторы внесли равный вклад в исследование и несут равную ответственность за информацию, опубликованную в данной статье.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors contributed equally to the study and are equally responsible for the information published in this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. de Castilhos MBM, de Queiroga APG, Sabino LL, dos Santos JR, Santiago UA, *et al.* Flavor biochemistry of fermented alcoholic beverages. In: Gopi S, Sukumaran NP, Jacob J, Thomas S, editors. *Natural Flavours, Fragrances, and Perfumes: Chemistry, Production, and Sensory Approach*. Berlin: Wiley-VCH GmbH; 2023, pp. 91–114. <https://doi.org/10.1002/9783527824816.ch6>
2. Wu J, Liu Y, Zhao H, Huang M, Sun Y, *et al.* Recent advances in the understanding of off-flavors in alcoholic beverages: Generation, regulation, and challenges. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021;103:104117. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104117>
3. Yan Q, Zhang K, Zou W, Hou Y. Three main flavour types of Chinese Baijiu: Characteristics, research, and perspectives. *Journal of the Institute of Brewing*. 2021;127(4):317–326. <https://doi.org/10.1002/jib.669>
4. Daute M, Jack F, Baxter I, Harrison B, Grigor J, *et al.* Comparison of three approaches to assess the flavour characteristics of scotch whisky spirit. *Applied Sciences*. 2021;11(4):1410. <https://doi.org/10.3390/app11041410>
5. Matthews AC. Beverage flavourings and their applications. In: Ashurst PR, editors. *Food Flavourings*. Boston: Springer; 1991, pp. 158–184. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0499-9_6
6. der Heijden KV. *International food safety handbook: Science, international regulation, and control*. NY: Routledge; 2019. 832 p. <https://doi.org/10.1201/9780203750346>
7. Kamiloglu S. Authenticity and traceability in beverages. *Food Chemistry*. 2019;277:12–24. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.091>
8. Оберенко А. В., Селезнев В. М. Ароматизаторы в составе коньяков, изымаемых из незаконного оборота на территории Красноярского края. *Вестник КрасГАУ*. 2024. Т. 143. № 2. С. 144–149. [Oberenko AV, Seleznev VM. The flavors in the composition of cognacs, withdrawn from illegal circulation on the territory of Krasnoyarsk region. *The Bulletin of KrasGAU*. 2019;143(2):144–149. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/VWNIEO>
9. Valand R, Tanna S, Lawson G, Bengtström L. A review of fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy used in food adulteration and authenticity investigations. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2020;37(1):19–38. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1675909>
10. Guillen MD, Manzanos MJ, Zabala L. Study of a commercial liquid smoke flavouring by means of gas chromatography/Mass spectrometry and fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1995;43(2):463–468. <https://doi.org/10.1021/jf00050a039>
11. Peng J, Yang Y, Zhou Y, Hocart CH, Zhao H, *et al.* Headspace solid-phase microextraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry with selected ion monitoring for the determination of four food flavouring compounds and its application in identifying artificially scented rice. *Food Chemistry*. 2020;313:126136. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126136>
12. Rusli NS, Embong Z, Muhammad N, Wahab AA, Jafery KM, *et al.* Attenuated total reflectance – Fourier transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopy analysis for O-H, C-H and C-O functional group in major carrier solvents of raw e-cigarette liquids (PG and VG). *AIP Conference Proceedings*. 2022;2454(1):030013. <https://doi.org/10.1063/5.0078540>
13. Gemma G, Cucinotta L, Rotondo A, Donato P, Mondello L, *et al.* Expanding the knowledge related to flavors and fragrances by means of three-dimensional preparative gas chromatography and molecular spectroscopy. *Separations*. 2022;9(8):202. <https://doi.org/10.3390/separations9080202>
14. Hong JM, Kim TW, Lee SJ. Sensory and volatile profiles of Korean commercially distilled soju using descriptive analysis and HS-SPME-GC-MS. *Foods*. 2020;9(9):1330. <https://doi.org/10.3390/foods9091330>
15. Kang H-R, Hwang H-J, Lee JE, Kim HR. Quantitative analysis of volatile flavor components in Korean alcoholic beverage and Japanese sake using SPME-GC-MS. *Food science and biotechnology*. 2016;25:979–985. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0159-7>

16. Ma L, Gao W, Chen F, Meng Q. HS-SPME and SDE combined with GC–MS and GC–O for characterization of flavor compounds in Zhizhonghe Wujiapi medicinal liquor. *Food Research International*. 2020;137:109590. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109590>
17. Muñoz-Redondo JM, Valcárcel-Muñoz MJ, Solana RR, Puertas B, Cantos-Villar E, et al. Development of a methodology based on headspace solid-phase microextraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry for the analysis of esters in brandies. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022;108:104458. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104458>
18. Tarhan İ, Bakır MR, Kalkan O, Yöntem M, Kara H. Rapid determination of adulteration of clove essential oil with benzyl alcohol and ethyl acetate: Towards quality control analysis by FTIR with chemometrics. *Vibrational Spectroscopy*. 2022;118:103339. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2022.103339>
19. Xia Y, Liu Y, Wang J, Shuang Q. Assessment of key aroma compounds in fresh jujube brandy by GC-O-MS and odor activity value. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020;44(7):e14494. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14494>
20. Gao Y, Li X-Y, Wang Q-L, Li Z-H, Chi S-X, et al. Quantification of crucial odorants dominating the characteristic flavor of beer by FTIR combined with machine learning approaches. SSRN. 2023. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4463417>
21. Deconinck E, Bothy JL, Barhdadi S, Courselle P. Discriminating nicotine and non-nicotine containing e-liquids using infrared spectroscopy. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2016;120:333–341. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2015.12.054>
22. Wang F, Shao C, Chen Q, Meng T, Li C. Application on sensory prediction of Chinese Moutai-flavour liquor based on ATR-FTIR. *E3S Web of Conferences*. 2019;79:03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197903001>
23. Akhtar Z, Barhdadi S, de Braekeleer K, Delporte C, Adams E, et al. Spectroscopy and chemometrics for conformity analysis of e-liquids: Illegal additive detection and nicotine characterization. *Chemosensors*. 2024;12(1):9. <https://doi.org/10.3390/chemosensors12010009>
24. Belchior V, Botelho BG, Oliveira LS, Franca AS. Attenuated total reflectance fourier transform spectroscopy (ATR-FTIR) and chemometrics for discrimination of espresso coffees with different sensory characteristics. *Food Chemistry*. 2019;273:178–185. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.026>
25. Mondragón-Cortez PM, Herrera-López EJ, Arriola-Guevara E, Guatemala-Morales GM. Application of fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) in combination with attenuated total reflection (ATR) for rapid analysis of the tequila production process. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 2022;21(3):1–11. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2806>
26. Rebiai A, Hemmami H, Zeghoud S, Seghir BB, Kouadri I, et al. Current application of chemometrics analysis in authentication of natural products: A review. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*. 2022;25(6):945–972. <https://doi.org/10.2174/1386207324666210309102239>
27. Randriamihamison N, Vialaneix N, Neuviat P. Applicability and interpretability of Ward's hierarchical agglomerative clustering with or without contiguity constraints. *Journal of Classification*. 2021;38:363–389. <https://doi.org/10.1007/s00357-020-09377-y>
28. Li Y, Li Q, Zhang B, Shen C, Xu Y, et al. Identification, quantitation and sensorial contribution of lactones in brandies between China and France. *Food Chemistry*. 2021;357:129761. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129761>
29. Thibaud F, Courregelongue M, Darriet P. Contribution of volatile odorous terpenoid compounds to aged cognac spirits aroma in a context of multicomponent odor mixtures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(47):13310–13318. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06656>
30. Nie X, Liu K, Zhang Y, Wang Z, Meng C, et al. Effects of oak chips on quality and flavor of persimmon brandy: A comprehensive analysis of volatile and non-volatile compounds. *LWT*. 2023;183:114915. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114915>
31. Crowell EA, Guymon JF. Studies of caprylic, capric, lauric, and other free fatty acids in brandies by gas chromatography. *American Journal of Enology and Viticulture*. 1969;20(3):155–163. <https://doi.org/10.5344/ajev.1969.20.3.155>
32. Eliseev MN, Gribkova IN, Kosareva OA, Alexeyeva OM. Effect of organic compounds on cognac sensory profile. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(2):244–253. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-244-253>
33. Ma Y, Li Y, Zhang B, Shen C, Yu L, et al. Chemosensory characteristics of brandies from Chinese core production area and first insights into their differences from cognac. *Foods*. 2023;13(1):27. <https://doi.org/10.3390/foods13010027>
34. Li S, Yang H, Tian H, Zou J, Li J. Correlation analysis of the age of brandy and volatiles in brandy by gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-ion mobility spectrometry. *Microchemical Journal*. 2020;157:104948. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104948>
35. Kelly TJ, O'Connor C, Kilcawley KN. Sources of volatile aromatic congeners in whiskey. *Beverages*. 2023;9(3):64. <https://doi.org/10.3390/beverages9030064>
36. Warren-Vega WM, Rocio FA, González-Gutiérrez LV, Carrasco-Marin F, Zarate-Guzmán AI, et al. Chemical characterization of tequila maturation process and their connection with the physicochemical properties of the cask. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021;98:103804. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103804>
37. Wang L, Chen S, Xu Y. Distilled beverage aging: A review on aroma characteristics, maturation mechanisms, and artificial aging techniques. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2023;22(1):502–534. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13080>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2558>
<https://elibrary.ru/LOMPCR>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Совершенствование технологии адаптации *Vaccinium angustifolium* и *Vaccinium corymbosum* *ex vitro* в открытом грунте



С. С. Макаров^{1,*}, А. И. Чудецкий¹, И. Б. Кузнецова²,
Е. И. Куликова³, А. Н. Кульчицкий⁴, Н. Р. Сунгурова⁴

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева^{ROR}, Москва, Россия

² Костромская государственная сельскохозяйственная академия^{ROR}, Караваево, Россия

³ Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Вережагина, Вологда, Россия

⁴ Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова^{ROR}, Архангельск, Россия

Поступила в редакцию: 15.03.2024

Принята после рецензирования: 09.04.2024

Принята к публикации: 07.05.2024

*С. С. Макаров: s.makarov@rgau-msha.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

А. И. Чудецкий: <https://orcid.org/0000-0003-4804-7759>

И. Б. Кузнецова: <https://orcid.org/0000-0001-5011-3271>

Е. И. Куликова: <https://orcid.org/0000-0002-5981-2690>

Н. Р. Сунгурова: <https://orcid.org/0000-0002-8464-4596>

© С. С. Макаров, А. И. Чудецкий, И. Б. Кузнецова,
Е. И. Куликова, А. Н. Кульчицкий, Н. Р. Сунгурова, 2025



Аннотация.

В связи с необходимостью импортозамещения ягодной продукции и посадочного материала на российском рынке требуется испытание сортов голубики в различных природно-климатических условиях. Цель – изучить влияние субстрата и ростостимулирующих веществ на приживаемость и морфометрические показатели голубики *ex vitro* в открытом грунте в природно-климатических условиях г. Москвы.

Объекты исследования – растения *Vaccinium corymbosum* L. 6 сортов (Bluecrop, Bluegold, Denise Blue, Duke, Kaz Pliszka, Patriot) и *Vaccinium Angustifolium* Ait. 6 сортов (Northblue, Northcountry, Лакомка, Нерль, Нея, Поморочка). Для адаптации к нестерильным условиям *ex vitro* использовали торфяные субстраты различного состава и ростостимулирующие препараты (Циркон, Эпин-Экстра). В условиях открытого грунта использовали мульчирование опадом и опилками хвойных пород, обработку препаратами Циркон и Эпин-Экстра.

Наибольшая приживаемость растений *V. angustifolium* при адаптации к нестерильным условиям *ex vitro* наблюдалась у российских сортов при обработке Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л на смесях торфа с вермикулитом 3:1 и торфа с цеолитом 3:1 (82–89 %), наибольшее число побегов – на смеси торфа с перлитом 3:1 (4,5–5,0 шт.). Наибольшая приживаемость в открытом грунте на верховом торфе у однолетних растений *V. angustifolium* составляла 100 %, у *V. corymbosum* – 75–90 %, наибольшее число побегов – при мульчировании опилками и опадом сосны и ели (5,0–8,7 шт.). Сохранность двухлетних растений *V. angustifolium* составляла 95–100 %, *V. corymbosum* – 84–90 %, максимальный суммарный прирост побегов отмечен после обработки Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л.

Полученные результаты можно использовать для совершенствования и дальнейшей оптимизации технологий размножения голубики с целью промышленного выращивания в почвенно-климатических условиях Центральной Нечерноземной зоны России. Препарат Эпин-Экстра способствует увеличению числа побегов голубики при адаптации *ex vitro* и в открытом грунте на верховом торфе. Мульчирование опилками и опадом сосны оказывает положительное влияние на побегообразование однолетних растений голубики в открытом грунте.

Ключевые слова. Ягода, голубика, *Vaccinium corymbosum* L., *Vaccinium angustifolium* Ait., микрклональное размножение, *ex vitro*, мульчирование, стимуляторы роста

Финансирование. Статья написана в рамках тематического плана-задания на выполнение научно-исследовательских работ по заказу Минсельхоза России по теме «Разработка агротехнологий нового поколения для ягодных растений с использованием биотехнологических методов для закладки ягодных плантаций» за счет средств федерального бюджета в 2024 году.

Для цитирования: Макаров С. С., Чудецкий А. И., Кузнецова И. Б., Куликова Е. И., Кульчицкий А. Н. и др. Совершенствование технологии адаптации *Vaccinium angustifolium* и *Vaccinium corymbosum ex vitro* в открытом грунте. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 107–121. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2558>

Improving the *Ex Vitro* Adaptation Technology for *Vaccinium Angustifolium* and *Vaccinium Corymbosum* on the Field



Sergey S. Makarov^{1,*}, Anton I. Chudetsky¹, Irina B. Kuznetsova²,
Elena I. Kulikova³, Andrey N. Kulchitsky⁴, Natalia R. Sungurova⁴

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy^{ROR}, Moscow, Russia

² Kostroma State Agricultural Academy^{ROR}, Karavaevo, Russia

³ Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia

⁴ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov^{ROR}, Arkhangelsk, Russia

Received: 15.03.2024

Revised: 09.04.2024

Accepted: 07.05.2024

*Sergey S. Makarov: s.makarov@rgau-msha.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

Anton I. Chudetsky: <https://orcid.org/0000-0003-4804-7759>

Irina B. Kuznetsova: <https://orcid.org/0000-0001-5011-3271>

Elena I. Kulikova: <https://orcid.org/0000-0002-5981-2690>

Natalia R. Sungurova: <https://orcid.org/0000-0002-8464-4596>

© S.S. Makarov, A.I. Chudetsky, I.B. Kuznetsova, E.I. Kulikova,
A.N. Kulchitsky, N.R. Sungurova, 2025



Abstract.

Russian food market is striving to substitute imported blueberry products and planting material. This research featured the effect of various substrates and growth stimulators on the survival rate and morphometric parameters of blueberry *ex vitro* in the climate of Moscow.

The study involved six cultivars of *Vaccinium corymbosum* L. (Bluecrop, Bluegold, Denise Blue, Duke, Kaz Pliszka, Patriot) and six cultivars of *V. angustifolium* Ait. (Northblue, Northcountry, Lakomka, Nerl, Neya, Pomorochka). The *ex vitro* experiment included various compositions of peat substrates and growth-stimulating preparations (Zircon, Epin-Extra) at the stage of adaptation to non-sterile conditions. Mulching with litter and sawdust of coniferous trees and treatment with Zircon and Epin-Extra were used in the field conditions.

The highest survival rate (82–89%) of *V. angustifolium* in non-sterile conditions *ex vitro* belonged to the Russian cultivars treated with Epin-Extra 0.5 mL/L on mixes of peat and vermiculite (3:1) and peat and zeolite (3:1). The largest number of shoots (4.5–5.0 pcs.) was registered on peat and perlite (3:1). The highest survival rate on high-moor peat was 100% for annual *V. angustifolium* and 75–90% for *V. corymbosum*. The largest number of shoots (5.0–8.7 pcs.) was obtained from the samples treated sawdust and pine-and-spruce waste. The survival rate was 95–100% for perennial *V. angustifolium* and 84–90% for *V. corymbosum*. The maximal total shoot growth was observed after Epin-Extra 0.5 mL/L.

The optimal substrates and growth regulators could be used to improve blueberry propagation for industrial cultivation in the soil and climate of Russia's Central Non-Chernozem Zone. Epin-Extra made it possible to increase the number of shoots during *ex vitro* adaptation and on high-moor peat. Sawdust and pine litter had a positive effect on shoot formation for annual blueberry plants in the field.

Keywords. Berry, blueberry, *Vaccinium corymbosum* L., *Vaccinium angustifolium* Ait., clonal micropropagation, adaptation, *ex vitro*, mulching, growth stimulants

Funding. The research was supported by the Ministry of Agriculture of Russia (2024) as part of research topic on New-generation agricultural technologies for biotechnological berry farming.

For citation: Makarov SS, Chudetsky AI, Kuznetsova IB, Kulikova EI, Kulchitsky AN, et al. Improving the *Ex Vitro* Adaptation Technology for *Vaccinium Angustifolium* and *Vaccinium Corymbosum* on the Field. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):107–121. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2558>

Введение

В настоящее время в связи с актуализацией экологического обеспечения продовольственной безопасности общества [1, 2] и возрастающим на рынке переработки

и потребления спросом на плодово-ягодную продукцию [3–6] возникает необходимость промышленного выращивания ценных дикорастущих ягодных растений, таких как голубика, клюква, брусника, морошка,

княженика, красника и др. Сбор ягод в природных местах произрастания зачастую не удовлетворяет запросы рынка по причине разбросанности популяций, непостоянства урожайности, интенсивного сокращения запасов ягодников (вплоть до исчезновения) вследствие ведения хозяйственной деятельности, труднодоступности территорий и отсутствия правильной организации или контроля процессов сбора и сбыта сырья [7–9]. Поэтому необходимо получить здоровый и генетически однородный посадочный материал для выращивания в производственных масштабах.

На сегодняшний день отмечается особый интерес к ягодным культурам рода *Vaccinium* L. ввиду их полезных свойств для здоровья человека, обусловленных содержанием в них различных групп биологически активных соединений. Одной из наиболее популярных ягод для реализации на рынке за последние годы стала голубика [4, 10]. Голубика обладает высокой пищевой и лекарственной ценностью. Ягоды голубики употребляют в пищу как в свежем, так и в замороженном виде, применяют их для изготовления различных джемов, варений, соков, морсов, настоек, кондитерских, хлебобулочных изделий и др. Благодаря содержанию в плодах большого количества аминокислот, витаминов (А, В₁, В₂, В₆, В₁₂, С, Е, К₁, РР), пектинов, антоцианов, флавоноидов, каротиноидов, микро- (марганец, железо, цинк, медь, селен) и макроэлементов (калий, фосфор, кальций, магний, натрий), других полезных веществ голубика может использоваться в фармацевтической промышленности для лечения воспалительных, сердечно-сосудистых, офтальмологических болезней, атеросклероза, гипертонии, ангины, ревматизма, капилляротоксикозов, ожирения, лихорадок, предотвращения диабета, цинги, снижения риска развития раковых и других серьезных заболеваний, а также в косметологии. Отвар из сухих ягод голубики в народной медицине используется как поливитаминный источник и вяжущее средство при расстройствах пищеварения, гастритах и энтеритах. Отвар из листьев голубики может применяться при сахарном диабете, заболеваниях сердца, мочеполовой системы, малокровии и в качестве слабительного средства. Польза потребления плодов и листьев голубики ввиду действия содержащихся в них биологически активных соединений подкрепляется растущим числом научных данных, полученных в результате многолетних клинических исследований [11–31]. Содержание тех или иных соединений в химическом составе плодов, листьев и других органов голубики также может зависеть от сорта и способа размножения [32]. Кроме того, голубика ввиду габитуса растений и фенологических особенностей разных видов и сортов, особенно в периоды цветения, плодоношения и осеннего окрашивания листьев, может успешно использоваться в декоративном садоводстве и ландшафтном дизайне [33, 34].

В промышленных масштабах в большинстве стран выращиваются преимущественно голубика высоко-

рослая (*Vaccinium corymbosum* L.) и голубика узколистная (*Vaccinium angustifolium* Ait.), которая относится к группе низкорослых культивируемых голубик и в настоящее время представлена в основном гибридными полувисокорослыми сортами с голубикой високорослой (*V. angustifolium* × *V. corymbosum*). Отмечено, что полная окупаемость голубичной плантации при правильной организации участков наступает на 3–4-й год после закладки насаждений, а долговечность их может достигать 30–40 лет [35–37]. Основными производителями голубики на мировом рынке по состоянию на 2016 г. являлись США (около 40 %), Канада, Чили, а уже с 2019 г. лидером стал Китай; в значительно меньшей степени ягоды данной культуры производят в Мексике, Германии, Польше, Франции, Нидерландах, Испании, Португалии и других странах. Общий объем импортируемых ягод рода *Vaccinium* (голубика, черника, клюква, брусника) в Россию в 2019 г. превышал 7 тыс. т, а доля импорта возросла с 2016 по 2019 г. более чем в 3 раза. Доля импорта ягодной продукции голубики на российском рынке в последнее десятилетие превышала 90 %, при этом экспертами отмечалось постоянное увеличение данного показателя (например, в 2020 г. – на 23,6 % по сравнению с 2019 г.). В 2021–2022 гг. объем импортируемой свежей голубики в России составлял около 11 тыс. т в год, тогда как внутри страны производилось не более 1 т ягод. При этом основными поставщиками были такие страны, как Беларусь, Перу, Марокко, Сербия, Чили, Грузия, Аргентина [4, 10, 38].

Голубика является одной из самых морозостойких ягодных культур. На территории России имеются огромные перспективы и возможности для увеличения внутреннего производства голубики – в плане земельных и водных ресурсов, подходящих для выращивания микроразнов, а также доступности финансирования и государственной поддержки по сравнению со странами Европы. Промышленными посадками голубики в стране занято не более 1 тыс. га, однако в настоящее время открываются новые предприятия по возделыванию данной культуры. При этом на плантациях выращивается обширный ассортимент зарубежных сортов голубики високорослой (Aurora, Bluecrop, Bluegold, Bluejay, Brigita Blue, Chandler, Darrow, Denise Blue, Denise Gold, Duke, Early Blue, Elizabeth, Elliott, Hannah's Choice, Hardy Blue, Jersey, Legacy, Liberty, Nelson, Patriot, Polaris, Reka, Sierra, Spartan, Sunrise, Toro и др.) и гибридных сортов голубики високорослой и голубики узколистной – Northblue, Northcountry (канадской селекции), Northland (американской селекции), Putte (шведской селекции), которые отличаются сроками созревания, размерами плодов, урожайностью и морозостойкостью. На сегодняшний день в России наиболее крупные плантации, где возделывается *V. corymbosum*, имеются в хозяйствах преимущественно южных регионов европейской части России (Краснодарский край, Ставропольский край, республики Крым, Кабардино-

Балкария, Карачаево-Черкессия, Адыгея, области Воронежская, Ростовская, Тамбовская, Липецкая), где условия выращивания по основным экологическим параметрам (температура и относительная влажность воздуха, количество осадков) сходны с континентальным климатом основных районов возделывания в Северной Америке. Также промышленным выращиванием *V. corymbosum* занимаются и в других регионах европейской части России (Калининградская, Московская, Ярославская, Рязанская, Смоленская, Ленинградская, Архангельская области), в Сибири (Тюменская область) и на Дальнем Востоке (Сахалинская область, Хабаровский край). В свою очередь *V. angustifolium* достаточно устойчива к отрицательным температурам (до $-33 \dots -35$ °C) и ввиду своих размеров обычно зимует под снегом, поэтому является наиболее оптимальным видом для возделывания в Средней полосе России, тогда как у *V. corymbosum* чаще наблюдается подмерзание побегов [36]. При этом важно отметить, что урожайность ягод голубики в разных природно-климатических условиях значительно варьируется в зависимости от погодных условий и имеет сортовые особенности [35, 39–42]. Посадки гибридных сортов *V. angustifolium* имеются в хозяйствах Архангельской, Костромской областей, Ханты-Мансийского АО – Югры, Хабаровского края. Питомники, в которых выращивают саженцы голубики, имеются по всей территории России – в Краснодарском крае, Московской, Ленинградской, Калужской, Нижегородской, Белгородской, Воронежской, Свердловской, Ульяновской, Смоленской, Владимирской, Ярославской, Челябинской, Пензенской, Томской областях, республиках Крым, Татарстан и Марий Эл, Алтайском и Приморском краях.

Используемый посадочный материал нередко является импортным, причем не всегда соответствует надлежащим требованиям к фитосанитарному состоянию. В связи с этим и с учетом современных экономических условий для обеспечения российского рынка ягодной продукцией голубики необходимо решать задачу импортозамещения посадочного материала, в том числе с использованием сортов и гибридных форм отечественной селекции. В результате многолетних работ, проводимых с начала 2000-х гг., российскими селекционерами были выведены и в 2022–2023 гг. внесены Госсорткомиссией РФ в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, первые отечественные сорта голубики узколистной: Лакомка, Нея, Нерль, Поморочка, – характеризующиеся сравнительно высокой зимостойкостью, крупноплодностью, большой урожайностью и устойчивостью к болезням и вредителям. Данные сорта успешно показали себя в природно-климатических условиях некоторых регионов России (Костромская, Архангельская области, Ханты-Мансийский АО – Югра, Хабаровский край) и по своим характеристикам потенциально пригодны для выращивания в различ-

ных почвенно-климатических зонах страны: в Северном, Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском, Центрально-Черноземном, Северо-Кавказском, Средне-волжском, Нижневолжском, Уральском, Западно-Сибирском, Восточно-Сибирском и Дальневосточном округах [43]. При этом проведение дополнительных испытаний сортов голубики узколистной отечественной селекции в различных природно-климатических условиях является необходимым.

В естественных природных условиях голубика размножается как семенным способом, так и вегетативно через обширную подземную систему корневищ. Традиционно голубику размножают в питомниках методом черенкования, что требует много времени для крупномасштабного производства посадочного материала. Семенной способ размножения голубики редко используется в производстве, поскольку растения не сохраняют в полном объеме хозяйственно ценные характеристики материнских экземпляров [35]. Для того, чтобы получить большие объемы стандартного оздоровленного посадочного материала голубики в целях плантационного выращивания необходимо прибегать к использованию высокотехнологичных и экономически эффективных технологий, таких как микроклональное размножение, что позволяет сохранить генетическую идентичность потомства и все ценные биохимические характеристики плодов растений. Результаты экспериментов по микроклонированию голубики (в том числе с использованием различных составов питательных сред, регуляторов роста и ростостимулирующих препаратов, светодиодного освещения определенного спектрального состава) показывают положительные тенденции роста и развития растений-регенерантов как в культуре *in vitro*, так и при их адаптации к нестерильным условиям *ex vitro*, где выявлено формирование большего количества побегов большей длины, чем при классических способах размножения [37, 44–46]. Вместе с тем исследователями отмечалось, что методы размножения ягодных культур рода *Vaccinium* оказывают прямое влияние на антиоксидантную активность плодов и листьев растений. Таким образом, установлено, что суммарная антиоксидантная активность в плодах образцов различных видов и сортов голубики, а также брусники, черники, клюквы, размноженных с помощью культуры клеток и тканей, была значительно выше по сравнению с растениями, выращенными с помощью традиционного черенкования [47].

Продолжаются испытания по совершенствованию агротехники выращивания голубики в открытом грунте, включая использование мульчирования, внекорневых обработок, систем ирригации, фертигации и других элементов, проведение своевременных мероприятий по уходу за посадками [37, 48, 49]. Требуется дополнительные исследования в отношении *V. angustifolium* (включая российские сорта) в природно-климатических условиях европейской части России.

Цель – изучить влияние субстрата и стимуляторов роста на приживаемость и морфометрические показатели размноженных *in vitro* растений голубики в нестерильных условиях *ex vitro*, а также способов мульчирования и обработки ростостимулирующими препаратами в открытом грунте – на сохранность и морфометрические показатели роста голубики в природно-климатических условиях г. Москвы.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в 2020–2024 гг. В качестве объектов исследований использовали растения голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) 6 сортов (Bluecrop, Bluegold, Denise Blue, Duke, Kaz Pliszka, Patriot) и голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) 6 сортов (Northblue, Northcountry, Лакомка, Нерль, Нея, Поморочка). Опыты по микроклональному размножению растений проводили в биотехнологических лабораториях Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова (САФУ имени М. В. Ломоносова), Костромской государственной сельскохозяйственной академии, Вологодской государственной молочнохозяйственной академии имени Н. В. Верещагина и филиала Центрально-европейской лесной опытной станции [36, 43].

Опыты по адаптации полученных *in vitro* растений-регенерантов к нестерильным условиям *ex vitro* проводили в САФУ имени М. В. Ломоносова и Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К. А. Тимирязева. Субстратами для укоренения выступили торф верхового типа ($pH_{KCl} = 2,8–3,1$), а также смеси торфа с песком в соотношении 3:1, торфа с вермикулитом в соотношении 3:1, торфа с перлитом в соотношении 3:1, торфа с цеолитом в соотношении 3:1. В мае проводили внекорневые обработки ростостимулирующими препаратами – Циркон в концентрации 0,5 мл/л и Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л; в качестве контрольного варианта применяли опрыскивание водой. На 14 суток после пересадки растений учитывали их приживаемость, а также количество образовавшихся побегов и листьев.

Через 90 суток адаптации растения пересаживали в открытый грунт на территории Дендрологического сада имени Р. И. Шредера на базе РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева (г. Москва) в подготовленные траншеи шириной 1,5–2,0 м и глубиной 0,7 м, наполненные верховым торфом. Схема посадки *V. angustifolium* – 1,5×3,0 м, *V. corymbosum* – 1,5×4,0 м. Фенологические особенности растений наблюдали согласно общепринятой методологии [50]. Проводили опыты с мульчированием опилками и опадом хвойных древесных пород (ель, сосна, лиственница); в качестве контроля рассматривали вариант без мульчирования. Учитывали приживаемость растений, число образовавшихся побегов и листьев. Кроме того, проводили вне-

корневые обработки ростостимулирующими препаратами Циркон (0,5 мл/л) и Эпин-Экстра (0,5 мл/л). Через 1 год после высадки растений в открытый грунт учитывали сохранность саженцев, а также морфометрические показатели – число побегов в расчете на одно растение, среднюю длину побегов и их суммарный прирост.

Результаты и их обсуждение

В результате исследований, проведенных на этапе адаптации *Vaccinium angustifolium* Ait. отечественных сортов к нестерильным условиям *ex vitro*, выявлено, что максимальная приживаемость растений наблюдалась при использовании субстратов из смесей торфа с вермикулитом (3:1) и торфа с цеолитом (3:1) с обработкой препаратом Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л она достигала у сорта Лакомка 89 и 86 %, у сорта Нерль – 85 и 84 %, у сорта Нея – 84 и 82 %, у сорта Поморочка – 82 и 84 % соответственно. У сорта Лакомка в вариантах использования торфа верхового типа и смеси торфа с цеолитом (3:1) при обработке препаратом Циркон в концентрации 0,5 мл/л приживаемость составляла 82 %, в вариантах со смесью торфа с песком (3:1) при обработке Цирконом и со смесью торфа с перлитом (3:1) при обработке Эпин-Экстра – 80 %. Такая же приживаемость отмечена у сорта Нерль в варианте со смесью торфа с цеолитом (3:1) при обработке Цирконом и у сорта Поморочка – в варианте смеси торфа с перлитом (3:1) при обработке препаратом Эпин-Экстра. Самая низкая приживаемость растений отмечена на всех изучаемых субстратах в контрольных вариантах (без обработки ростостимулирующими препаратами) и варьировалась от 45 до 68 % (табл. 1).

При обработке препаратом Циркон в концентрации 0,5 мл/л количество побегов у исследуемых сортов растений *V. angustifolium* на всех изучаемых субстратах варьировалось от 3,80 до 4,60 шт. У сортов Лакомка, Нерль и Нея число побегов в варианте использования смеси торфа с перлитом (3:1) с обработкой препаратом Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л составляло в среднем 4,50 шт., а у сорта Поморочка – 5,00 шт. Наибольшее число листьев формировалось у растений *V. angustifolium* сортов Нерль и Нея. Оно составило в вариантах со смесью торфа с вермикулитом (3:1) и торфа с цеолитом (3:1) при обработке препаратом Эпин-Экстра у сорта Нерль – 30,10 и 26,50 шт., у сорта Нея – 38,30 и 40,20 шт. соответственно. У этих же сортов *V. angustifolium* в варианте со смесью торфа и цеолита (3:1) при обработке Цирконом количество листьев составляло в среднем 20,10–20,40 шт. У двух других исследуемых сортов *V. angustifolium* количество листьев было значительно меньше. Так, у сорта Лакомка лучшие показатели – в вариантах с торфом верхового типа с обработкой Цирконом (10,10 шт.), смесями торфа с перлитом (3:1) и торфа с цеолитом (3:1) при обра-

ботке препаратом Эпин-Экстра – 10,30 и 12,30 шт. соответственно. Для сорта Поморочка лучшими вариантами оказались торф верхового типа с обработкой Цирконом (11,30 шт.), смесь торфа с перлитом (3:1)

с обработкой препаратами Цирконом (11,10 шт.) и Эпин-Экстра (13,20 шт.), а также вариант со смесью торфа с цеолитом (3:1) с обработкой этими же препаратами – 14,20 и 15,00 шт. соответственно.

Таблица 1. Приживаемость и морфометрические показатели растений *Vaccinium angustifolium* Ait. отечественных сортов при адаптации к нестерильным условиям *ex vitro* с различными вариантами обработки ростостимулирующими препаратами

Table 1. Survival and morphometric parameters of domestic *Vaccinium angustifolium* Ait. during adaptation to non-sterile conditions *ex vitro* with different growth stimulators

Сорт	Субстрат	Вариант обработки	Приживаемость, %	Число побегов, шт.	Число листьев, шт.
Лакомка	Торф верхового типа	Контроль (вода)	56	3,50 ± 0,11	6,40 ± 0,21
		Циркон, 0,5 мл/л	82	4,30 ± 0,16	10,10 ± 0,29
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	76	3,60 ± 0,17	9,20 ± 0,17
	Торф верхового типа + песок (3:1)	Контроль (вода)	62	3,30 ± 0,15	5,80 ± 0,31
		Циркон, 0,5 мл/л	80	4,20 ± 0,19	8,30 ± 0,19
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	74	4,10 ± 0,09	9,00 ± 0,22
	Торф верхового типа + вермикулит (3:1)	Контроль (вода)	54	3,30 ± 0,12	5,90 ± 0,24
		Циркон, 0,5 мл/л	76	3,90 ± 0,14	6,70 ± 0,27
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	89	4,00 ± 0,16	8,20 ± 0,31
	Торф верхового типа + перлит (3:1)	Контроль (вода)	65	4,00 ± 0,17	8,40 ± 0,36
		Циркон, 0,5 мл/л	76	4,30 ± 0,11	9,60 ± 0,29
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	80	4,50 ± 0,13	10,30 ± 0,33
	Торф верхового типа + цеолит (3:1)	Контроль (вода)	70	3,20 ± 0,13	7,30 ± 0,26
		Циркон, 0,5 мл/л	82	3,80 ± 0,14	9,60 ± 0,18
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	86	3,80 ± 0,15	12,30 ± 0,39
Нерль	Торф верхового типа	Контроль (вода)	50	3,70 ± 0,11	10,30 ± 0,32
		Циркон, 0,5 мл/л	77	4,60 ± 0,14	14,90 ± 0,33
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	70	3,90 ± 0,11	15,30 ± 0,40
	Торф верхового типа + песок (3:1)	Контроль (вода)	58	4,00 ± 0,09	10,90 ± 0,29
		Циркон, 0,5 мл/л	77	4,50 ± 0,18	11,60 ± 0,30
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	70	4,30 ± 0,17	13,60 ± 0,26
	Торф верхового типа + вермикулит (3:1)	Контроль (вода)	69	3,50 ± 0,13	8,90 ± 0,18
		Циркон, 0,5 мл/л	72	3,90 ± 0,16	10,30 ± 0,10
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	85	4,00 ± 0,19	30,10 ± 0,44
	Торф верхового типа + перлит (3:1)	Контроль (вода)	62	4,10 ± 0,16	11,90 ± 0,21
		Циркон, 0,5 мл/л	72	4,30 ± 0,15	16,30 ± 0,36
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	75	4,50 ± 0,13	17,20 ± 0,41
	Торф верхового типа + цеолит (3:1)	Контроль (вода)	68	3,50 ± 0,10	12,30 ± 0,31
		Циркон, 0,5 мл/л	80	4,00 ± 0,14	20,10 ± 0,19
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	84	4,10 ± 0,18	26,50 ± 0,31
Нея	Торф верхового типа	Контроль (вода)	45	3,80 ± 0,11	16,20 ± 0,13
		Циркон, 0,5 мл/л	75	4,60 ± 0,14	19,20 ± 0,21
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	70	3,90 ± 0,11	18,30 ± 0,31
	Торф верхового типа + песок (3:1)	Контроль (вода)	52	4,00 ± 0,09	15,30 ± 0,16
		Циркон, 0,5 мл/л	75	4,50 ± 0,18	15,90 ± 0,23
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	70	4,40 ± 0,17	17,90 ± 0,17
	Торф верхового типа + вермикулит (3:1)	Контроль (вода)	65	3,50 ± 0,13	13,20 ± 0,14
		Циркон, 0,5 мл/л	70	3,90 ± 0,16	16,20 ± 0,10
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	84	4,00 ± 0,19	38,30 ± 0,40
	Торф верхового типа + перлит (3:1)	Контроль (вода)	60	4,10 ± 0,16	15,30 ± 0,22
		Циркон, 0,5 мл/л	68	4,30 ± 0,15	18,30 ± 0,19
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	72	4,50 ± 0,13	19,20 ± 0,30
Торф верхового типа + цеолит (3:1)	Контроль (вода)	65	4,00 ± 0,17	15,30 ± 0,40	
	Циркон, 0,5 мл/л	77	3,80 ± 0,20	20,40 ± 0,32	
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	82	4,40 ± 0,24	40,20 ± 0,32	

Продолжение таблицы 1

Сорт	Субстрат	Вариант обработки	Приживаемость, %	Число побегов, шт.	Число листьев, шт.
Поморочка	Торф верхового типа	Контроль (вода)	45	3,30 ± 0,16	6,80 ± 0,19
		Циркон, 0,5 мл/л	50	4,20 ± 0,21	11,30 ± 0,37
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	77	3,80 ± 0,19	9,80 ± 0,21
	Торф верхового типа + песок (3:1)	Контроль (вода)	70	3,00 ± 0,14	6,20 ± 0,24
		Циркон, 0,5 мл/л	60	4,00 ± 0,19	8,30 ± 0,32
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	56	2,90 ± 0,13	7,40 ± 0,22
	Торф верхового типа + вермикулит (3:1)	Контроль (вода)	60	4,10 ± 0,20	7,30 ± 0,20
		Циркон, 0,5 мл/л	76	3,80 ± 0,18	8,20 ± 0,32
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	82	3,60 ± 0,17	10,10 ± 0,39
	Торф верхового типа + перлит (3:1)	Контроль (вода)	65	4,10 ± 0,21	8,00 ± 0,34
		Циркон, 0,5 мл/л	75	4,20 ± 0,23	11,10 ± 0,42
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	80	5,00 ± 0,31	13,20 ± 0,49
	Торф верхового типа + цеолит (3:1)	Контроль (вода)	68	4,50 ± 0,28	7,60 ± 0,22
		Циркон, 0,5 мл/л	79	4,30 ± 0,26	14,20 ± 0,29
		Эпин-Экстра, 0,5 мл/л	84	4,20 ± 0,24	15,00 ± 0,32

Далее адаптированные к нестерильным условиям *ex vitro* растения голубики пересаживали в открытый грунт на торф верхового типа, при этом применяли мульчирование опилками и опадом таких хвойных пород, как ель, сосна и лиственница. Приживаемость у всех исследуемых сортов *V. angustifolium* во всех вариантах достигала 100 %. Как правило, наибольшее количество побегов формировалось в вариантах с мульчированием опилками и опадом сосны и составляло у сорта Northblue 5,40 и 5,20 шт. соответственно, у сорта Northcountry – 5,60 и 5,00 шт., у сорта Лакомка – 5,90 и 5,70 шт., у сорта Нерль – 6,00 и 5,80 шт., у сорта Нея – 6,40 и 5,20 шт., у сорта Поморочка – 5,20 и 4,90 шт. У сортов Нея и Поморочка максимальное число побегов отмечено в вариантах с мульчированием опилками ели – 7,00 и 6,60 шт. соответственно. В вариантах без мульчирования число побегов было наименьшим (табл. 2).

Наибольшее количество листьев *V. angustifolium* у сортов российской селекции наблюдалось в вариантах с мульчированием опилками и опадом ели и сосны, оно варьировалось у сорта Лакомка от 26,30 до 30,00 шт., у сорта Нерль – от 28,60 до 32,20 шт., у сорта Нея – от 36,30 до 42,30 шт., у сорта Поморочка – от 30,30 до 40,10 шт., тогда как у растений *V. angustifolium* сорта Northblue зарубежной селекции лучшие показатели были в вариантах с мульчированием опилками ели, сосны и лиственницы (14,30–15,30 шт.), у сорта Northcountry – при мульчировании опилками сосны и лиственницы (22,60–23,60 шт.) Наименьшее число листьев отмечено в контрольных вариантах.

Самая высокая приживаемость адаптированных растений-регенерантов *Vaccinium corymbosum* L. после пересадки в открытый грунт на торф верхового типа была отмечена у сорта Kaz Pliszka и достигала 90 %, несколько меньше была приживаемость у сортов Blue-

сcrop и Patriot – по 85 %, у сортов Bluegold и Duke – по 80 %, а у сорта Denise Blue – лишь 75 % (табл. 3). Наибольшее количество побегов у растений *V. corymbosum* формировалось в вариантах с мульчированием опилками и опадом сосны и составляло: у сорта Bluecrop – 7,10 и 6,80 шт. соответственно, у сорта Bluegold – 7,00 и 6,70 шт., у сорта Denise Blue – 7,40 и 7,30 шт., у сорта Duke – 7,70 и 7,30 шт., у сорта Kaz Pliszka – 7,90 и 6,80 шт., у сорта Patriot – 8,00 и 6,80 шт. Однако у сортов Kaz Pliszka и Patriot максимальное количество побегов наблюдалось в варианте с мульчированием опилками ели – 8,60 и 8,70 шт. соответственно. В вариантах без мульчирования количество побегов было наименьшим.

Наибольшее количество листьев однолетних растений *V. corymbosum* на верховом торфе наблюдалось у сортов Patriot и Denise Blue в варианте с мульчированием сосновыми опилками (44,70 и 44,80 шт. соответственно) и опадом (46,40 и 46,60 шт.). У сортов Duke и Kaz Pliszka наиболее высокие значения данного показателя также были отмечены в этих вариантах (33,40–36,60 шт.). Следует отметить, что сорта Bluecrop и Bluegold значительно уступали другим сортам по количеству листьев: в лучших для них вариантах с мульчированием опилками лиственницы и сосны у них образовалось по 18,90–19,90 и 26,50–27,90 шт. листьев соответственно. У всех исследуемых сортов *V. corymbosum* наименьшим число листьев было также в контрольных вариантах.

В ходе исследований было выявлено, что после перезимовки в открытом грунте среди растений *V. corymbosum* лучше остальных сохранились двулетние сорта Denise Blue (до 90 %), далее по мере убывания следовали сорта Duke (88 %), Patriot (87 %), Bluegold (86 %), Kaz Pliszka (85 %) и Bluecrop (84 %). Сохранность двулетних растений *V. angustifolium* была значительно выше: у отечественных сортов она достигала 100 %, у

Таблица 2. Приживаемость и средние морфометрические показатели однолетних растений *Vaccinium angustifolium* Ait. в открытом грунте на торфе верхового типа с различными вариантами мульчирования в природно-климатических условиях г. Москвы

Table 2. Survival rate and average morphometric parameters of annual *Vaccinium angustifolium* Ait. on high-moor peat with different mulching options in the natural climate of Moscow

Сорт	Вариант мульчирования		Приживаемость, %	Число побегов, шт.	Число листьев, шт.
Northblue	Контроль (без мульчирования)		100	2,30 ± 0,12	10,20 ± 0,14
	Опилки хвойных пород	ель		4,20 ± 0,14	14,50 ± 0,13
		сосна		5,40 ± 0,17	15,30 ± 0,13
		лиственница		3,60 ± 0,16	14,30 ± 0,17
	Опад хвойных пород	ель		4,30 ± 0,19	12,10 ± 0,10
		сосна		5,20 ± 0,20	13,80 ± 0,15
		лиственница		3,10 ± 0,15	11,30 ± 0,12
Northcountry	Без мульчирования (контроль)		100	3,10 ± 0,16	15,30 ± 0,10
	Опилки хвойных пород	ель		4,30 ± 0,20	20,20 ± 0,19
		сосна		5,60 ± 0,19	23,60 ± 0,21
		лиственница		3,90 ± 0,22	22,60 ± 0,32
	Опад хвойных пород	ель		4,80 ± 0,13	19,90 ± 0,12
		сосна		5,00 ± 0,17	20,30 ± 0,23
		лиственница		3,00 ± 0,10	21,50 ± 0,29
Лакомка	Без мульчирования (контроль)		100	3,50 ± 0,18	17,60 ± 0,19
	Опилки хвойных пород	ель		4,50 ± 0,14	26,30 ± 0,23
		сосна		5,90 ± 0,23	28,90 ± 0,19
		лиственница		3,60 ± 0,20	24,30 ± 0,26
	Опад хвойных пород	ель		4,60 ± 0,11	26,30 ± 0,28
		сосна		5,70 ± 0,23	30,00 ± 0,25
		лиственница		3,60 ± 0,29	25,30 ± 0,30
Нерль	Без мульчирования (контроль)		100	2,90 ± 0,18	18,10 ± 0,27
	Опилки хвойных пород	ель		4,50 ± 0,15	28,60 ± 0,26
		сосна		6,00 ± 0,17	31,20 ± 0,32
		лиственница		3,30 ± 0,13	29,60 ± 0,27
	Опад хвойных пород	ель		4,40 ± 0,16	30,20 ± 0,21
		сосна		5,80 ± 0,11	32,20 ± 0,19
		лиственница		3,90 ± 0,10	25,60 ± 0,19
Нея	Без мульчирования (контроль)		100	3,40 ± 0,20	21,30 ± 0,32
	Опилки хвойных пород	ель		7,00 ± 0,31	36,30 ± 0,29
		сосна		6,40 ± 0,21	40,30 ± 0,23
		лиственница		3,80 ± 0,16	32,10 ± 0,33
	Опад хвойных пород	ель		4,30 ± 0,12	37,10 ± 0,36
		сосна		5,20 ± 0,30	42,30 ± 0,38
		лиственница		4,20 ± 0,22	30,10 ± 0,26
Поморочка	Без мульчирования (контроль)		100	3,10 ± 0,23	19,20 ± 0,28
	Опилки хвойных пород	ель		6,60 ± 0,29	30,30 ± 0,21
		сосна		5,20 ± 0,18	34,50 ± 0,30
		лиственница		3,20 ± 0,12	29,00 ± 0,25
	Опад хвойных пород	ель		4,00 ± 0,10	35,20 ± 0,32
		сосна		4,90 ± 0,26	40,10 ± 0,34
		лиственница		3,80 ± 0,18	26,30 ± 0,20

а у зарубежных – 95–96 %, что является явным доказательством их большей зимостойкости в природно-климатических условиях г. Москвы по сравнению с *V. corymbosum* (табл. 4).

После перезимовки максимальное количество побегов у исследуемых сортов обоих видов голубики

в открытом грунте на торфе верхового типа формировалось в вариантах с обработкой препаратом Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л: у *V. corymbosum* варьировалось от 4,40 до 6,20 шт., у *V. angustifolium* – от 5,30 до 6,90 шт. Исключение составил сорт *V. angustifolium* Northblue, где наибольшее число побегов

Таблица 3. Приживаемость и средние морфометрические показатели однолетних растений *Vaccinium corymbosum* L. в открытом грунте на торфе верхового типа с различными вариантами мульчирования в природно-климатических условиях г. Москвы

Table 3. Survival rate and average morphometric parameters of annual *Vaccinium corymbosum* L. on high-moor peat with different mulching options in the natural climate of Moscow

Сорт	Вариант мульчирования		Приживаемость, %	Число побегов, шт.	Число листьев, шт.
Bluecrop	Контроль (без мульчирования)		85	3,70 ± 0,17	14,10 ± 0,18
	Опилки хвойных пород	ель		5,40 ± 0,26	18,40 ± 0,22
		сосна		7,10 ± 0,34	19,90 ± 0,28
		лиственница		5,20 ± 0,25	18,90 ± 0,24
	Опад хвойных пород	ель		6,00 ± 0,29	16,40 ± 0,20
		сосна		6,80 ± 0,31	18,00 ± 0,21
		лиственница		4,90 ± 0,22	14,70 ± 0,17
Bluegold	Контроль (без мульчирования)		80	4,80 ± 0,24	19,70 ± 0,27
	Опилки хвойных пород	ель		5,80 ± 0,29	24,50 ± 0,34
		сосна		7,00 ± 0,33	27,90 ± 0,41
		лиственница		5,50 ± 0,28	26,50 ± 0,38
	Опад хвойных пород	ель		6,40 ± 0,30	24,10 ± 0,30
		сосна		6,70 ± 0,32	24,60 ± 0,32
		лиственница		4,60 ± 0,23	26,10 ± 0,37
Denise Blue	Контроль (без мульчирования)		75	5,10 ± 0,24	25,60 ± 0,35
	Опилки хвойных пород	ель		6,20 ± 0,32	40,40 ± 0,51
		сосна		7,40 ± 0,39	44,80 ± 0,53
		лиственница		5,00 ± 0,24	36,70 ± 0,48
	Опад хвойных пород	ель		6,10 ± 0,31	41,20 ± 0,50
		сосна		7,30 ± 0,36	46,60 ± 0,55
		лиственница		5,10 ± 0,23	35,00 ± 0,47
Duke	Контроль (без мульчирования)		80	4,50 ± 0,22	22,20 ± 0,31
	Опилки хвойных пород	ель		6,20 ± 0,30	32,90 ± 0,42
		сосна		7,70 ± 0,40	35,80 ± 0,47
		лиственница		5,00 ± 0,26	33,80 ± 0,45
	Опад хвойных пород	ель		6,00 ± 0,32	35,00 ± 0,48
		сосна		7,30 ± 0,37	36,60 ± 0,49
		лиственница		5,50 ± 0,29	30,10 ± 0,42
Kaz Pliszka	Контроль (без мульчирования)		90	5,00 ± 0,24	21,80 ± 0,30
	Опилки хвойных пород	ель		8,60 ± 0,45	30,50 ± 0,38
		сосна		7,90 ± 0,41	33,40 ± 0,44
		лиственница		5,20 ± 0,25	28,90 ± 0,29
	Опад хвойных пород	ель		6,00 ± 0,29	30,70 ± 0,41
		сосна		6,80 ± 0,35	34,60 ± 0,45
		лиственница		5,80 ± 0,29	30,00 ± 0,36
Patriot	Контроль (без мульчирования)		85	5,00 ± 0,26	25,50 ± 0,32
	Опилки хвойных пород	ель		8,70 ± 0,42	40,40 ± 0,48
		сосна		8,00 ± 0,39	44,70 ± 0,52
		лиственница		5,10 ± 0,23	36,80 ± 0,47
	Опад хвойных пород	ель		5,90 ± 0,28	42,00 ± 0,51
		сосна		6,80 ± 0,34	46,40 ± 0,54
		лиственница		6,00 ± 0,27	34,50 ± 0,46

было в варианте с обработкой Цирконом (6,30 шт.). Средняя длина побегов у всех изучаемых сортов была наибольшей в варианте с обработкой препаратом Эпин-Экстра: у *V. corymbosum* она составляла 24,00–30,20 см, тогда как у *V. angustifolium* отечественных сортов – 45,6–61,3 см, у зарубежных – 29,1–35,2 см.

Суммарный прирост побегов у двулетних растений исследуемых видов голубики в открытом грунте также был больше в вариантах с обработкой препаратом Эпин-Экстра. Максимальные показатели отмечены у сортов *V. angustifolium* отечественной селекции: Лакомка – 241,7 см, Нерль – 320,4 см, Нея –

Таблица 4. Сохранность и показатели роста и развития двухлетних растений голубики на торфе верхового типа в природно-климатических условиях г. Москвы

Table 4. Survival rate, growth, and development of perennial blueberry on high-moor peat in the natural climate of Moscow

Сорт	Вариант обработки	Сохранность, %	Число побегов, шт. / саженец	Средняя длина побега, см	Суммарный прирост побегов, см
Vaccinium corymbosum L.					
Bluecrop	Контроль (вода)	84	3,10 ± 0,13	25,30 ± 0,13	78,40 ± 0,45
	Циркон, 0,5 мл/л		5,60 ± 0,19	26,40 ± 0,19	147,80 ± 1,13
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		6,20 ± 0,11	30,20 ± 0,26	187,20 ± 1,63
Bluegold	Контроль (вода)	86	3,60 ± 0,16	23,40 ± 0,24	84,20 ± 0,65
	Циркон, 0,5 мл/л		4,30 ± 0,12	24,60 ± 0,31	105,80 ± 1,19
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		5,20 ± 0,20	27,20 ± 0,26	125,80 ± 1,25
Denise Blue	Контроль (вода)	90	2,30 ± 0,19	24,20 ± 0,30	55,70 ± 1,35
	Циркон, 0,5 мл/л		4,20 ± 0,17	26,30 ± 0,26	110,50 ± 1,45
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		4,40 ± 0,21	30,10 ± 0,21	132,50 ± 1,80
Duke	Контроль (вода)	88	3,00 ± 0,15	18,30 ± 0,19	54,90 ± 1,92
	Циркон, 0,5 мл/л		4,90 ± 0,19	24,60 ± 0,14	120,50 ± 1,63
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		5,60 ± 0,17	30,20 ± 0,16	169,20 ± 1,80
Kaz Pliszka	Контроль (вода)	85	2,60 ± 0,11	19,60 ± 0,18	51,10 ± 1,16
	Циркон, 0,5 мл/л		4,20 ± 0,23	25,10 ± 0,19	105,40 ± 1,01
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		5,90 ± 0,15	26,90 ± 0,21	158,70 ± 1,69
Patriot	Контроль (вода)	87	3,20 ± 0,18	19,00 ± 0,33	60,80 ± 1,66
	Циркон, 0,5 мл/л		5,00 ± 0,22	21,30 ± 0,30	106,50 ± 1,59
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		5,70 ± 0,23	24,00 ± 0,13	136,80 ± 1,89
Vaccinium angustifolium Ait.					
Northblue	Контроль (вода)	96	3,80 ± 0,22	24,30 ± 1,30	92,30 ± 1,66
	Циркон, 0,5 мл/л		6,30 ± 0,26	26,30 ± 0,27	165,70 ± 1,58
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		4,90 ± 0,18	29,10 ± 0,13	142,60 ± 2,30
Northcountry	Контроль (вода)	95	3,60 ± 0,29	23,80 ± 0,10	85,70 ± 1,90
	Циркон, 0,5 мл/л		4,20 ± 0,10	30,10 ± 0,26	126,40 ± 1,37
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		5,30 ± 0,16	35,20 ± 0,18	186,60 ± 1,92
Лакомка	Контроль (вода)	100	2,80 ± 0,14	35,30 ± 0,20	98,80 ± 1,66
	Циркон, 0,5 мл/л		4,30 ± 0,19	37,90 ± 0,24	162,90 ± 1,68
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		5,30 ± 0,21	45,60 ± 0,19	241,70 ± 2,10
Нерль	Контроль (вода)	100	3,00 ± 0,23	30,20 ± 0,36	90,60 ± 2,09
	Циркон, 0,5 мл/л		4,90 ± 0,30	40,30 ± 0,40	197,50 ± 1,93
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		5,90 ± 0,14	54,30 ± 0,39	320,40 ± 2,32
Нея	Контроль (вода)	100	2,00 ± 0,12	35,10 ± 0,12	70,20 ± 2,61
	Циркон, 0,5 мл/л		5,60 ± 0,16	39,30 ± 0,35	220,10 ± 2,10
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		6,90 ± 0,18	50,60 ± 0,42	349,20 ± 3,6
Поморочка	Контроль (вода)	100	3,10 ± 0,20	30,00 ± 0,32	93,00 ± 1,11
	Циркон, 0,5 мл/л		4,20 ± 0,21	45,60 ± 0,44	191,50 ± 2,10
	Эпин-Экстра, 0,5 мл/л		5,50 ± 0,24	61,30 ± 0,38	337,20 ± 3,69

349,2 см, Поморочка – 337,20 см, в то время как у зарубежных сортов не превышали 186,60 см. У растений *V. corymbosum* суммарная длина побегов в аналогичных вариантах варьировалась от 125,80 до 187,20 см.

Минимальные значения числа, средней длины и суммарного прироста побегов *V. corymbosum* и *V. angustifolium* были в контрольных вариантах без обработки.

Результаты фенологических наблюдений за двухлетними растениями голубики на следующий год после пересадки в открытый грунт приведены в таблицах 5 и 6.

Фазу набухания почек у исследуемых сортов *V. corymbosum* наблюдали 23–27 апреля, у сортов *V. angustifolium* – 26–30 апреля, распускание вегетативных

почек зафиксировали спустя 9–16 дней.

На втором году жизни растения в норме еще не вступают в плодоношение, поэтому фенологические фазы бутонизации, цветения и плодоношения авторами отмечено не было.

Окончание роста побегов отмечали у растений *V. corymbosum* 1–9 сентября, у *V. angustifolium* – 25–30 августа. Процесс изменения сезонной окраски листьев наблюдали в течение 25–36 дней, начиная с 29 августа – 1 сентября у *V. corymbosum*, с 24–27 августа – у *V. angustifolium*. Начало листопада отмечали у растений

Таблица 5. Сроки наступления фенологических фаз двухлетних растений *Vaccinium corymbosum* L. в природно-климатических условиях г. Москвы в 2023 г.

Table 5. Phenological timing of perennial *Vaccinium corymbosum* L. in the natural climate of Moscow, 2023

Фенологическая фаза	Bluecrop	Bluegold	Denise Blue	Duke	Kaz Pliszka	Patriot
Набухание почек	25 апреля	23 апреля	26 апреля	25 апреля	25 апреля	27 апреля
Бутонизация	Не наблюдалась					
Распускание вегетативных почек	7 мая	8 мая	7 мая	8 мая	9 мая	9 мая
Распускание генеративных почек	Не наблюдалось					
Начало роста побегов ветвления	17 мая	19 мая	18 мая	19 мая	21 мая	20 мая
Начало роста побегов формирования	8 июня	12 июня	17 июня	21 июня	19 июня	13 июня
Начало цветения	Не наблюдались					
Массовое цветение						
Окончание цветения						
Начало созревания ягод						
Полное созревание ягод						
Окончание роста побегов ветвления и формирования	1 сентября	4 сентября	5 сентября	1 сентября	8 сентября	8 сентября
Начало изменения сезонной окраски листьев	30 октября	1 сентября	31 октября	29 октября	30 октября	30 октября
Полное изменение сезонной окраски листьев	29 сентября	28 сентября	25 сентября	30 сентября	28 сентября	1 октября
Начало листопада	12 октября	14 октября	10 октября	12 октября	12 октября	15 октября
Окончание листопада	1 ноября	3 ноября	3 ноября	4 ноября	8 ноября	5 ноября

Таблица 6. Сроки наступления фенологических фаз двухлетних растений *Vaccinium angustifolium* Ait. в природно-климатических условиях г. Москвы в 2023 г.

Table 6. Phenological timing of perennial *Vaccinium angustifolium* Ait. in the natural climate of Moscow, 2023

Фенологическая фаза	Northblue	Northcountry	Лакомка	Нерль	Нея	Поморочка
Набухание почек	26 апреля	29 апреля	29 апреля	30 апреля	30 апреля	28 апреля
Бутонизация	Не наблюдалась					
Распускание вегетативных почек	6 июня	8 июня	7 июня	9 июня	8 июня	7 июня
Распускание генеративных почек	Не наблюдалось					
Начало роста побегов ветвления	15 июня	18 июня	17 июня	18 июня	19 июня	19 июня
Начало роста побегов формирования	7 июля	10 июля	11 июля	9 июля	9 июля	10 июля
Начало цветения	Не наблюдались					
Массовое цветение						
Окончание цветения						
Начало созревания ягод						
Полное созревание ягод						
Окончание роста побегов ветвления и формирования	27 октября	30 октября	28 октября	26 октября	28 октября	25 октября
Начало изменения сезонной окраски листьев	25 октября	24 октября	25 октября	27 октября	25 октября	26 октября
Полное изменение сезонной окраски листьев	26 сентября	27 сентября	25 сентября	28 сентября	27 сентября	28 сентября
Начало листопада	8 октября	9 октября	7 октября	10 октября	8 октября	9 октября
Окончание листопада	29 октября	27 октября	30 октября	29 октября	28 октября	25 октября

V. corymbosum во второй декаде октября, у *V. angustifolium* – в конце первой декады октября, его продолжительность у данных видов составляла 19–31 и 16–23 дней соответственно.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что на этапе адаптации к нестерильным условиям *ex vitro* наиболее высокая приживаемость

растений *Vaccinium angustifolium* Ait. отечественных сортов наблюдалась при использовании субстратов из смесей торфа с вермикулитом (3:1) и торфа с цеолитом (3:1) совместно с обработкой препаратом Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л. При этом наибольшее число побегов *V. angustifolium* исследуемых сортов наблюдалось в варианте использования торфа с перлитом (3:1) и обработкой препаратом Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л, а также на различных субстратах при обработке препаратом Циркон в концентрации 0,5 мл/л. Максимальное число листьев формировалось у растений *V. angustifolium* исследуемых сортов Нерль и Нея в вариантах применения смесей торфа с вермикулитом (3:1) и торфа с цеолитом (3:1) с одновременной обработкой препаратом Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л, тогда как у сортов Лакомка и Поморочка количество листьев было значительно меньше, а лучшие показатели у них наблюдались в вариантах с торфом верхового типа и обработкой Цирконом, а также с использованием смесей торфа с перлитом (3:1) и торфа с цеолитом (3:1) с обработкой препаратом Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л.

При пересадке в открытый грунт на торф верхового типа приживаемость у сортов *V. angustifolium* отечественной и зарубежной селекции во всех вариантах была 100 %. Наибольшее количество побегов у однолетних растений формировалось в вариантах при мульчировании опилками и опадом сосны, а максимальное количество листьев – в вариантах с мульчированием опилками и опадом ели и сосны. Приживаемость растений *V. corymbosum* L. исследуемых сортов составляла 75–90 %. При этом наибольшее количество побегов у однолетних растений формировалось в вариантах при мульчировании опилками и опадом сосны, у сортов Kaz Pliszka и Patriot – опилками ели, а наибольшее количество листьев у сортов Denise Blue, Duke, Kaz Pliszka, Patriot – в вариантах с мульчированием опилками и опадом сосны, у сортов Bluescor и Bluegold – опилками лиственницы и сосны.

В условиях Центральноевропейской части России наиболее высокой была сохранность двухлетних расте-

ний *V. angustifolium* отечественных сортов (100 %) и достаточно высокой – у зарубежных сортов (95–96 %), тогда как для сортов *V. corymbosum* сохранность составляла 84–90 %. Максимальные число, средняя длина и суммарный прирост побегов *V. corymbosum* и *V. angustifolium* наблюдались в вариантах с обработкой препаратом Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л. Значения биометрических показателей *V. angustifolium* отечественных сортов были значительно выше, чем у зарубежных, в аналогичных вариантах.

Полученные положительные результаты исследований могут быть использованы как элементы совершенствования и дальнейшей оптимизации научно обоснованных технологий размножения голубики высокорослой и голубики узколистной с целью промышленного выращивания в почвенно-климатических условиях зоны Центрального Нечерноземья России. Создание ягодных плантаций с использованием адаптированного посадочного материала голубики позволит удовлетворить возрастающую потребность населения страны в ягодной продукции, что приобретает большую практическую значимость в существующих экономических условиях необходимости импортозамещения на российском рынке пищевой продукции и лекарственного сырья.

Критерии авторства

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку данной статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors contributed equally to the study and are equally responsible for the information published in this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Прокопьев М. Г. Экологическая составляющая обеспечения продовольственной безопасности. Эколого-экономическое регулирование рынка. 2018. № 4. С. 64–68. [Prokopiev MG. The ecological component of food security. Market Economy Problems. 2018;(4):64–68. (In Russ.)] <https://doi.org/10.33051/2500-2325-2018-4-64-68>
2. Жевлаков Г. Д. Продовольственная и экологическая устойчивость в обеспечении безопасности общества. Азиатско-Тихоокеанский регион: экономика, политика, право. 2019. № 1. С. 79–95. [Zhevlakov GD. Food and environmental sustainability in ensuring the security of society. Pacific Rim: Economics, Politics, Law. 2019;(1):79–95. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24866/1813-3274/2019-1/79-95>
3. Грибова Н. А., Елисеева Л. Г. Исследование спроса и потребительских предпочтений переработанного плодово-ягодного сырья и продуктов на их основе. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84. № 3. С. 432–438. [Gribova NA, Eliseeva LG. Study of demand and consumer preferences of processed fruit and berry raw materials and products based on them. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2022;84(3):432–438. (In Russ.)] <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-3-432-438>

4. Ибрашева Л. Р., Обухова Н. И., Быстренина И. Е., Васильев В. В., Сычева И. Н. и др. Международная торговля агропродовольственными товарами: факторы, тенденции, основные подгруппы. Московский экономический журнал. 2023. Т. 8. № 7. Номер статьи 17. [Ibrasheva LR, Obukhova NI, Bystrenina IE, Vasiliev VV, Sycheva IN, *et al.* International trade in agricultural and food products: Factors, trends, main subgroups. Moscow Economic Journal. 2023;8(7):17. (In Russ.)) <https://elibrary.ru/AZCFXM>
5. Козий И. Сезонность формирования цен при реализации ягод в розничные сети. Ягоды России. 2023. Т. 2. № 9. С. 10–15. [Koziy I. Seasonal price formation for berries in retail chains. Berries of Russia. 2023;2(9):10–15. (In Russ.))
6. Обухова Н. И., Ибрашева Л. Р., Быстренина И. Е., Пучкова О. С., Васильев В. В. и др. Изменение глобального и российского импорта плодовойягодной продукции. Столыпинский вестник. 2023. Т. 5. № 7. Номер статьи 29. [Obukhova NI, Ibrasheva LR, Bystrenina IE, Puchkova OS, Vasiliev VV, *et al.* Changes in global and Russian imports of fruit and berry products. Stolypin Bulletin. 2023;5(7):29. (In Russ.))
7. Набиева А. Р. Потребительская кооперация в структуре рынка дикорастущих плодово-ягодных культур и лесных грибов. Вестник Марийского государственного университета. 2019. Т. 5. № 4. С. 470–481. [Nabieva AR. Consumer cooperation in the structure of the market of wild fruit and berry crops and forest mushrooms. Bulletin of the Mari State University. 2019;5(4):470–481. (In Russ.)) <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-4-470-480>
8. Минаков И. А., Малюков В. В. Проблемы и перспективы развития ягодоводства в России. Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 2. Номер статьи 24. [Minakov IA, Malyukov VV. Problems and prospects for the development of berry growing in Russia. Science and Education. 2022;5(2):24. (In Russ.))
9. Мартынюк А. А., Курлович Л. Е., Трушина И. Г., Трушина Н. И. Лесные дикоросы – ресурсы, использование и нормативное правовое регламентирование: аналитический обзор. Лесохозяйственная информация. 2023. № 4. С. 117–165. [Martynyuk AA, Kurlovich LE, Trushina IG, Trushina NI. Forest wild plants – Resources, use and legal regulation: Analytical review. Forestry Information. 2023;(4):117–165. (In Russ.)) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.11>
10. Безуглова В. Бизнес распробовал свежую голубику. Эксперт. 2022. № 40. С. 39–41. [Bezuglova V. Business has approved of fresh blueberries. Expert. 2022;(40):39–41. (In Russ.))
11. Флюрик Е. А., Бушкевич Н. В. Биотехнологические аспекты использования голубики. Эпоха науки. 2020. № 21. С. 293–296. [Flyurik EA, Bushkevich NV. Biotechnological aspects of the use of blueberry. Era of Science. 2020;(21):293–296. (In Russ.)) <https://elibrary.ru/TXTWDF>
12. Khakhutaishvili M, Djaparidze I, Vanidze M, Kalandia A. Chemical study of various blueberry varieties introduced in Georgia. International Journal of Life Science. 2019;7(3):483–490.
13. Ştefanescu BE, Szabo K, Mocan A, Crisan G. Phenolic compounds from five ericaceae species leaves and their related bioavailability and health benefits. Molecules. 2019;24(11):2046. <https://doi.org/10.3390/molecules24112046>
14. Fayyaz S, Attar R, Xu B, Sabitaliyevich UY, Adylova A, *et al.* Realizing the potential of blueberry as a natural inhibitor of metastasis and powerful apoptosis inducer: Tapping the treasure trove for effective regulation of cell signaling pathways. Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry. 2020;20(15):1780–1786. <https://doi.org/10.2174/187152062066620-0311103206>
15. Kalt W, Cassidy A, Howard LR, Krikorian R, Stull AJ, *et al.* Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins. Advances in Nutrition. 2020;11(2):224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>
16. Mengist MF, Grace MH, Xiong J, Kay CD, Bassil N, *et al.* Diversity in metabolites and fruit quality traits in blueberry enables ploidy and species differentiation and establishes a strategy for future genetic studies. Frontiers in Plant Science. 2020;11:370. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00370>
17. Miraghajani M, Momenyan S, Arab A, Dehkordi AH, Symonds ME. Blueberry and cardiovascular disease risk factors: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Complementary Therapies in Medicine. 2020;53:102389. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2020.102389>
18. Travica N, D’Cunha NM, Naumovski N, Kent K, Mellor DD, *et al.* The effect of blueberry interventions on cognitive performance and mood: A systematic review of randomized controlled trials. Brain, Behavior, and Immunity. 2020;85:96–105. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2019.04.001>
19. Bell L, Williams CM. Blueberry benefits to cognitive function across the lifespan. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2021;72(5):650–652. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1852192>
20. Han T, Wu W, Li W. Transcriptome analysis revealed the mechanism by which exogenous ABA increases anthocyanins in blueberry fruit during veraison. Frontiers in Plant Science. 2021;12:758215. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.758215>
21. Prvulović D, Tukuljac MP, Kolarov R, Kolbas N, Kolbas A, *et al.* Chemical composition and antioxidant properties of blueberry fruits and jam. Agriculture & Food. 2021;9:78–85.
22. Рябцева Т. В. Голубика – перспективная культура часть 2. Тенденции мирового рынка. Наше сельское хозяйство. 2022. № 3. С. 116–121. [Ryabtseva TV. Blueberries as a promising crop, Part 2. World market trends. Our agriculture. 2022;(3):116–121. (In Russ.)) <https://elibrary.ru/NJURWE>
23. Azari H, Morovati A, Gargari BP, Sarbakhsh P. Beneficial effects of blueberry supplementation on the components of metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis. Food & Function. 2022;13(9):4875–4900. <https://doi.org/10.1039/D1FO03715C>

24. Duan Y, Tarafdar A, Chaurasia D, Singh A, Bhargava PC, et al. Blueberry fruit valorization and valuable constituents: A review. International Journal of Food Microbiology. 2022;381:109890. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109890>
25. Dunford NT. Blueberries and health. Functional Food Science. 2022;2(1):1–15. <https://doi.org/10.31989/ffs.v2i1.875>
26. Kiernozek E, Maslak P, Kozłowska E, Jarzyna I, Średnicka-Tober D, et al. Biological activity of extracts from differently produced blueberry fruits in inhibiting proliferation and inducing apoptosis of HT-29 cells. Foods. 2022;11(19):3011. <https://doi.org/10.3390/foods11193011>
27. Krishna P, Pandey G, Thomas R, Parks S. Improving blueberry fruit nutritional quality through physiological and genetic interventions: A review of current research and future directions. Antioxidants. 2023;12(4):810. <https://doi.org/10.3390/antiox12040810>
28. Samani P, Costa S, Cai S. Neuroprotective effects of blueberries through inhibition on cholinesterase, tyrosinase, cyclooxygenase-2, and amyloidogenesis. Nutraceuticals. 2023;3(1):39–57. <https://doi.org/10.3390/nutraceuticals3010004>
29. Wilder-Smith CH, Materna A, Olesen SS. Blueberries improve abdominal symptoms, wellbeing and functioning in patients with functional gastrointestinal disorders. Nutrients. 2023;15(10):2396. <https://doi.org/10.3390/nu15102396>
30. Prieto Martínez A, Coutiño Diaz M, Anaya Romero L, Ali Redha A, Zare R, et al. Effects of *Vaccinium* berries (blueberries, cranberries and bilberries) on oxidative stress, inflammation, exercise performance, and recovery – A systematic review. Food & Function. 2024;15(2):444–459. <https://doi.org/10.1039/d3fo04435a>
31. Czernicka M, Sowa-Borowiec P, Puchalski C, Czerniakowski ZW. Content of bioactive compounds in highbush blueberry *Vaccinium corymbosum* L. Leaves as a potential raw material for food technology or pharmaceutical industry. Foods. 2024;13(2):246. <https://doi.org/10.3390/foods13020246>
32. Santos-Rufo A, Rodríguez-Solana R, Fernández-Recamales MA, Sayago-Gómez A, Weiland-Ardaiz CM. Comparative analysis of anatomical characteristics and phenolic compounds of two highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Cultivars with different rooting ability of semi-hardwood cuttings. Scientia Horticulturae. 2024;324:112591. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112591>
33. Finn CE, Strik BC, Mackey TA, Jones PA, Bassil NV, et al. ‘Echo’ ornamental reflowering blueberry. HortScience. 2019;54(2):368–370. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13646-18>
34. Симахин М. В., Зубик И. Н., Аниськина Т. С., Донских В. Г., Покиньючерда А. М. Оценка декоративных качеств сортов голубики высокорослой (*Vaccinium Corymbosum* L.) в условиях Москвы. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 8. С. 75–79. [Simakhin MV, Zubik IN, Aniskina TS, Donskikh VG, Pokincherda AM. Assessment of the ornamental qualities of highbush blueberry varieties (*Vaccinium corymbosum* L.) in Moscow. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2021;(8):75–79. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/AAKORK>
35. Курлович Т. В. Голубика для любителей и профессионалов. М.: Де’Либри; 2020. 130 с. [Kurlovich TV. Blueberries for amateurs and professionals. Moscow: De’Libri; 2020. 130 p. (In Russ.)]
36. Радкевич Т. В. Современное состояние и тенденции развития культуры голубики. Плодоводство. 2022. Т. 34. С. 211–219. [Radkevich TV. Current state and trends in the development of blueberry culture. Fruit Growing. 2022;34:211–219. (In Russ.)] <https://doi.org/10.47612/0134-9759-2022-34-211-219>
37. Макаров С. С., Упадышев М. Т., Хамитов Р. С., Антонов А. М., Куликова Е. И. и др. Перспективы промышленного выращивания и биотехнологические методы размножения лесных ягодных растений. М.: Колос-с; 2023. 152 с. [Makarov SS, Upadyshev MT, Khamitov RS, Antonov AM, Kulikova EI, et al. Prospects for industrial cultivation and biotechnological methods of propagation of forest berries. Moscow: Kolos-s; 2023. 152 p. (In Russ.)]
38. Латков Н. Ю., Видякин А. В., Коржук А. Б., Латкова Е. В. Анализ и перспективы развития ягодного растениеводства в РФ. Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. Т. 63. № 6. С. 47–58. [Latkov NYu, Vidyakin AV, Korzhuk AB, Latkova EV. Analysis and prospects for the development of berry crop production in the Russian Federation. International Agricultural Journal. 2020;63(6):47–58. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10231>
39. Дрозд О. В. Сохраняемость плодов голубики в зависимости от сортовой специфики и метеорологических условий сезона. Плодоводство. 2019. Т. 31. С. 242–249. [Drozd OV. Reservation of blueberry fruits depending on varietal specificity and meteorological conditions of the season. Fruit Growing. 2019;31:242–249. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/CZKXKQ>
40. Jiang Y, Zeng Q, Wei J, Jiang J, Li Y, et al. Growth, fruit yield, photosynthetic characteristics, and leaf microelement concentration of two blueberry cultivars under different long-term soil pH treatments. Agronomy. 2019;9(7):357. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070357>
41. Strik BC, Vance AJ. Highbush blueberry cultivars differ in the relationship between seed number and berry weight during the harvest season. HortScience. 2019;54(10):1728–1736. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI114198-19>
42. Barai K, Calderwood L, Wallhead M, Vanhanen H, Hall B, et al. High variation in yield among wild blueberry genotypes: Can yield be predicted by leaf and stem functional traits? Agronomy. 2022;12(3):617. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030617>
43. Makeeva Г. Ю., Тяк Г. В., Makeev В. А., Макаров С. С. Создание первых российских сортов голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.). Современное садоводство. 2023. № 1. С. 1–14. [Makeeva GYu, Tyak GV, Makeev VA, Makarov SS. Creation of the first Russian cultivars of blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). Contemporary horticulture. 2023;(1):1–14. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ORCZRX>

44. Макаров С. С., Родин С. А., Кузнецова И. Б., Чудецкий А. И., Цареградская С. Ю. Влияние освещения на ризогенез ягодных растений при клональном микроразмножении. Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 520–528. [Makarov SS, Rodin SA, Kuznetsova IB, Chudetsky AI, Tsaregradskaya SYu. Effect of lighting on rhizogenesis of berry plants during clonal micropropagation. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):520–528. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>
45. Макаров С. С., Упадышев М. Т., Кузнецова И. Б., Заушинцева А. В., Куликова Е. И. и др. Применение освещения различного спектрального диапазона при клональном микроразмножении лесных ягодных растений. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2022. № 6. С. 82–93. [Makarov SS, Upadyshev MT, Kuznetsova IB, Zaushintsena AV, Kulikova EI, *et al.* The use of lighting of various spectral ranges for clonal micropropagation of forest berry plants. Russian Forestry Journal. 2022;(6):82–93. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-82-93>
46. Makarov SS, Kuznetsova IB, Chudetsky AI, Rodin SA. Obtaining high-quality planting material of forest berry plants by clonal micropropagation for restoration of cutover peatlands. Russian Forestry Journal. 2021;(2):21–29. <https://elibrary.ru/ZZIXQR>
47. Debnath SC, Goyali JC. In Vitro propagation and variation of antioxidant properties in micropropagated *Vaccinium* berry plants – A review. Molecules. 2020;25(4):788. <https://doi.org/10.3390/molecules25040788>
48. Fang Y, Nunez GH, de Silva MN, Phillips DA, Munoz PR. A review for southern highbush blueberry alternative production systems. Agronomy. 2020;10(10):1531. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101531>
49. Nunes de Lima F, Yamanishi OK, de Pires MC, Saba ED, Pereira AR, *et al.* Ecophysiology of the southern highbush blueberry cv. biloxi in response to nitrogen fertigation. Comunicata Scientiae. 2020;11:e3245. <https://doi.org/10.14295/cs.v11i0.3245>
50. Владимиров Д. Р., Гладилин А. А., Гнеденко А. Е., Глухов А. И., Грудинская В. А. и др. Методика ведения фенологических наблюдений. М.: Альпина PRO; 2023. 208 с. [Vladimirov DR, Gladilin AA, Gnedenko AE, Glukhov AI, Grudinskaya VA, *et al.* Methodology for phenological observations. Moscow: Alpina PRO; 2023. 208 p. (In Russ.)]

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2561>
<https://elibrary.ru/JJTSM>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Управление технологическими процессами ресурсосбережения свеклосахарного производства с использованием метода статистического моделирования



С. К. Мизанбекова^{1,*}, И. П. Богомолова²,
И. Н. Василенко², Н. М. Шатохина²

¹ Казахский национальный аграрный исследовательский университет^{ROR}, Алматы, Республика Казахстан

² Воронежский государственный университет инженерных технологий^{ROR}, Воронеж, Россия

Поступила в редакцию: 15.03.2024

Принята после рецензирования: 27.05.2024

Принята к публикации: 04.06.2024

*С. К. Мизанбекова: salima-49@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-7602-9710>

И. П. Богомолова: <https://orcid.org/0000-0001-5883-1294>

И. Н. Василенко: <https://orcid.org/0000-0002-2899-5455>

© С. К. Мизанбекова, И. П. Богомолова, И. Н. Василенко,
Н. М. Шатохина, 2025



Аннотация.

Использование информационных технологий и методов статистического моделирования в управлении технологическими процессами свеклосахарного производства приобретает все большее значение в условиях цифровизации экономики. Их применение позволяет провести комплексный анализ всех отраслевых процессов, выявить проблемные области и риски, реализовать технико-технологические мероприятия с упором на социально-экономическое направление. Цель работы – повысить технологическую эффективность процессов ресурсосбережения с использованием экономико-математических методов.

Объектом исследования послужило свеклосахарное производство РФ. Прикладные разработки апробированы на примере предприятия Центрального федерального округа РФ. В ходе исследования использовались методы статистической группы (наблюдение, анализ, абсолютные и относительные величины, сводка и группировка), а также аналогия, синтез, описание, обобщение, научное объяснение, формализация, экспертная оценка, историческая ретроспектива, моделирование, экономико-статистическое моделирование.

В работе составлена линейная модель множественной регрессии и расчетная модель оценки уровня технологической эффективности сахарного производства. Проведенные расчеты и практика отраслевой деятельности показывают, что совершенствование техники и технологии может обеспечить уменьшение расхода топлива без реализации высокочрезмерных проектов в сфере энергосбережения, повысить эффективность переработки свеклы (+32 %), сократить ресурсоемкость производственного процесса, а именно снизить расход известнякового камня (~23 %), топлива (~18 %) и вспомогательных материалов (~14 %).

Предложена расчетная модель, которую целесообразно использовать на тактическом уровне отраслевого управления для оценки эффективности работы заводских смен. Модель позволит проводить сравнительный анализ показателей в реальном времени, а не в конце декады, и оперативно выявлять угрозы нарушения технологического процесса.

Ключевые слова. Свеклосахарное производство, математическое моделирование, информатизация и совершенствование технологических процессов, эффективное производство, ресурсосбережение

Для цитирования: Мизанбекова С. К., Богомолова И. П., Василенко И. Н., Шатохина Н. М. Управление технологическими процессами ресурсосбережения свеклосахарного производства с использованием метода статистического моделирования. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 122–135. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2561>

Technological Management of Resource Saving in Sugar Beet Production Using Statistical Modeling



Salima K. Mizanbekova^{1,*}, Irina P. Bogomolova²,
Irina N. Vasilenko², Natalya M. Shatohina²

¹ Kazakh National Agrarian Research University^{ROR}, Almaty, Kazakhstan

² Voronezh State University of Engineering Technologies^{ROR}, Voronezh, Russia

Received: 15.03.2024

Revised: 27.05.2024

Accepted: 04.06.2024

*Salima K. Mizanbekova: salima-49@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-7602-9710>

Irina P. Bogomolova: <https://orcid.org/0000-0001-5883-1294>

Irina N. Vasilenko: <https://orcid.org/0000-0002-2899-5455>

© S.K. Mizanbekova, I.P. Bogomolova, I.N. Vasilenko,
N.M. Shatohina, 2025



Abstract.

Information technologies and statistical modeling have become an inherent part of technological management in sugar beet production. They provide a comprehensive analysis of all industry processes, as well as make it possible to implement technological socio-economic measures and identify problem areas and risks. The article describes the technological efficiency of resource-saving processes based on economic and mathematical methods.

The study focused on the domestic sugar beet production; the R&D was tested at an enterprise in the Central Federal District of the Russian Federation. It involved standard research methods, as well as expert assessment, historical retrospective, and economic and statistical modeling.

The linear multiple regression model and the technological efficiency calculation model supported the empirical results. Better equipment and technology reduce fuel consumption without implementing high-cost energy saving projects and increase the efficiency of beet processing (+32%). In addition, they reduce the resource intensity of limestone (~23%), fuel (~18%), and auxiliary materials (~14%).

The calculation model can be used to strategize the industry management and assess the efficiency of factory shifts. The model promptly identifies threats of technological disruption and allows for a real time comparative analysis.

Keywords. Sugar beet production, mathematical modeling, informatization and improvement of technological processes, efficient production, resource conservation

For citation: Mizanbekova SK, Bogomolova IP, Vasilenko IN, Shatohina NM. Technological Management of Resource Saving in Sugar Beet Production Using Statistical Modeling. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):122–135. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2561>

Введение

Свеклосахарная промышленность относится к важнейшим структурно-функциональным звеньям российского агропромышленного комплекса, призванным решать социальные проблемы обеспечения продовольственной безопасности населения страны. Сегодня в России насчитывается порядка 66 действующих сахарных заводов (на начало 2024 г. в активной фазе функционирования находилось 40 отраслевых предприятий). Данные предприятия имеют ряд отличительных признаков, в частности, по уровню номинальных производственных мощностей, которые могут варьироваться от нескольких тонн до более чем 200 тыс. т. Кроме того, суточное производство сахара

в начале 2024 г. составило 19 тыс. т, что превышает норму суточного потребления сахара на 7,4 тыс. т. Все это доказывает положительный производственно-потребительский баланс.

На фоне постоянного роста стоимости всех видов ресурсов для устойчивого развития свеклосахарного подкомплекса необходимо повышение технологической эффективности и уровня ресурсосбережения, а также сокращение потерь и себестоимости. Одним из актуальных направлений модернизации работы предприятия является использование математических подходов в управлении производственно-технологическими процессами. Это позволяет не только снизить издержки, повысить уровень контроля и качества

планирования, но и обеспечить рост отраслевого производства в области информатизации технологических процессов ресурсосбережения. Явный научный интерес к данным сферам исследования прослеживается в работах [1–9].

Несмотря на многие ограничения в сфере отечественного свеклосахарного производства, в том числе связанные с действием экономических санкций, в 2023 г. уровень самообеспечения сахаром в России составил 114,2 %, что на 24,2 п. п. выше порогового значения Доктрины (Указ Президента РФ № 20 от 21.01.2020). При этом в 2024 г., по данным Минсельхоза РФ, показатель самообеспечения сахаром снизился до 107 %, однако это выше нормативного значения на 17 п. п. Валовый сбор сахарной свеклы в РФ снизился по сравнению с 2013 г. на 13,4 % и в натуральном выражении составил 44 млн т, при этом рекордный показатель был отмечен в 2019 г., когда было собрано 54,4 млн т данного корнеплода. В 2024 г. отмечено снижение урожайности свеклы на 22 % при росте посевных площадей на 9,9 % (до 1169 тыс. га), также была зафиксирована более высокая дигестия (сахаристость) свеклы (+6,5 % к 2023 г.) и выход сахара (+5,24 % к 2023 г.). Производство свекловичного сахара в сезоне 2024/25 будет продолжаться до августа 2025 г. и, согласно прогнозным данным, а также с учетом выработки из мелассы и сиропа, составит более 6,1 млн т (–11,2 % к предыдущему сезону). Ожидается, что рынок сахара в 2024/25 гг. будет устойчив и сбалансирован за счет накопленных в предыдущие годы существенных запасов сахара, также вполне возможен высокий экспорт – более одного млн т (рекорд 2019/20 – 1,5 млн т). По данным Росстата, запасы сахара только на сахарных заводах на конец октября 2024 г. составили 1973 тыс. т (в 2023 г. – 1734 тыс. т, в 2015 г. – 1281 тыс. т).

В 2024 г. отрасль отработала на хорошем уровне. В частности, не был пущен лишь один из 67 действующих сахзаводов, а два завода Курской области пустились с некоторой задержкой. Так, суточная выработка сахара в России в начале октября 2024 г. выходила на исторический пик ~54,5 тыс. т. При этом затраты свекловодов продолжают возрастать.

Потребление сахара в РФ в период 2023/24 медленно снижалось и в 2024/25 гг. составит не более 5,75 млн т, и его заметный рост в ближайшие годы маловероятен. Однако рынок сахара России по-прежнему остается конкурентным, в частности, на текущий момент действуют 28 независимых производителей сахара, сотни независимых производителей сахарной свеклы (и зачетчиков), получающих сахар по давальческим схемам и взаиморасчетам, десятки крупнооптовых трейдеров, Белорусская сахарная компания, ОЗК и Росрезерв.

Основными рисками для производства свеклы в 2025 г. может стать своевременное обеспечение семенами эффективных гибридов и средствами защиты растений, которые в большинстве своем остаются импортными. Это формирует дополнительную неопре-

деленность к непростой в последние годы ситуации с логистикой, взаиморасчетами и поставками многих средств производства с импортными компонентами. Если поставка всех необходимых средств производства для свеклосахарной отрасли будет успешна, то Россия (вместе с Беларусью) в ближайшие годы может войти в группу крупнейших мировых экспортеров сахара (включая и свекловичный сахар-сырец) и поставлять стабильно не менее одного млн т в год на многие рынки Евразии и Африки [10].

Цель работы – повысить технологическую эффективность процессов ресурсосбережения с использованием экономико-математических методов. Задачи: составить линейную модель множественной регрессии, определяющую перечень параметров, необходимых для расчета выхода сахара; предложить расчетную модель оценки уровня технологической эффективности сахарного производства; провести научное обоснование влияния отдельных параметров на эффективность технологического процесса производства сахара.

Объекты и методы исследования

Работа выполнена на базе Казахского национального аграрного университета (г. Алматы, Республика Казахстан) и Воронежского государственного университета инженерных технологий (г. Воронеж, Россия).

В качестве объекта исследования выступило отечественное свеклосахарное производство; прикладные разработки были апробированы на примере одного из заводов ЦФО РФ. В ходе исследования использовались методы статистической группы (наблюдение, анализ, абсолютные и относительные величины, сводка и группировка), а также аналогия, синтез, описание, обобщение, научное объяснение, формализация, экспертная оценка, историческая ретроспектива, моделирование, экономико-статистическое моделирование. Особое значение имели корреляционно-регрессионный анализ, критерии Акаике (AIC) и Шварца (BIC), метод наименьших квадратов (МНК), методические положения отраслевой учетно-контрольной документации, отраслевые технологические карты, методические основы технологии производства сахара на отечественных предприятиях. В работе были использованы официальные данные государственной статистики (Росстат); научные публикации в рецензируемых журналах за период 2019–2023 гг. из наукометрических баз данных (Scopus, Web of Science, eLIBRARY.RU); нормативно-правовые документы профильных министерств и ведомств (Минсельхоз России); информация из СПС Гарант; данные, содержащиеся в годовых отчетах Союза сахаропроизводителей России (декадные сведения за 2023/24 гг.).

Результаты и их обсуждение

Сделанные выводы фактически подтверждаются деятельностью отраслевых предприятий. Несмотря на негативные последствия введения экономических

санкций, предприятия не остановили свою работу. Ограничения, затронувшие экспорт гранулированного жома железнодорожным транспортом, привели к переориентации рынков сбыта на страны Востока и Азии. Вместе с тем предприятие (объект данного исследования) адаптировалось к изменениям в цепочках поставок: основными поставщиками импортных запасных частей, масел, химических ингредиентов и других вспомогательных материалов стали компании из Китая. В связи с этим предприятие сосредоточилось на ряде ключевых задач, включая оптимизацию производственных процессов, повышение эффективности работы сотрудников и отдельных участков, сокращение затрат на производство и сбыт, а также внедрение мероприятий по ресурсо- и энергосбережению. Последовательное выполнение этих задач обеспечило выпуск конкурентоспособной продукции, способствовало выходу на экспортные рынки, заключению долгосрочных контрактов с крупными промышленными партнерами и получению стабильной прибыли. Так, было установлено, что валовой сбор сахарной свеклы снизился по сравнению с предыдущим годом на 13,4 % и составил 44 млн т. Урожайность культуры снизилась на 22 %, при этом посевные площади увеличились на 9,9 % – до более 1,16 млн га. Согласно прогнозам, рынок сахара в сезоне 2024/25 будет сбалансирован и устойчив за счет накопленных в предыдущие годы существенных запасов. Производство свекловичного сахара в сезоне 2024/25 с учетом выработки из мелассы и сиропа, по оценкам экспертов, превысит 6,1 млн т, что на 11,2 % ниже предыдущего сезона. Запасы сахара на сахарных заводах на конец октября 2024 г. составили 1973 тыс. т. Экспорт сахара из России с осени 2024 г. активизировался и в ноябре достиг 114 тыс. т. Основной объем поставок из России в последние годы осуществляется по железной дороге на рынки таких стран, как Казахстан, Узбекистан, Таджикистан, Азербайджан, Киргизия, Туркмения, Монголия, и др. Цены на сахар на внутреннем рынке после длительного снижения стали расти с начала сентября 2024 г. При этом затраты свекловодов продолжают увеличиваться. Отраслевые специалисты подчеркивают, что в хозяйствах, соблюдающих все аспекты агротехнологии, с учетом амортизации и доставки свеклы-2025 затраты могут превысить 180–200 тыс. руб. без НДС на один га. Теоретически можно вкладывать меньше, экономив на эффективных семенах, СЗР, удобрениях, ГСМ и прочем, но это гарантированно обернется существенным снижением отдачи сахара с одного га и резким ростом погодных и других рисков [10, 11].

Проведенное исследование показало, что в анализируемый период менеджмент предприятия эффективно реализовывал технико-технологическую политику в области ресурсосбережения. Предприятие продолжило курс на модернизацию производства с целью постепенного роста производительности труда работников и улучшения технологических показателей

переработки сахарной свеклы. Внедрение в производство разработанных рекомендаций, направленных на повышение уровня информатизации технологических процессов, будет способствовать сохранению стратегической ориентации предприятия на развитие инноваций, расширение рынков сбыта за счет повышения качества продукции и снижения потерь сахара в производстве.

В настоящее время большой практический интерес для отраслевых специалистов представляет изучение производственно-технологических и экономических процессов с позиции «фактор-результат» на основе применения экономико-математических подходов [12, 13]. Экономико-статистические методы, например, корреляционно-регрессионный анализ [14], играют важную роль в исследовании технологических процессов. Современные подходы все чаще предполагают применение математических методов, одним из центральных элементов которых является уравнение регрессии, описывающее процесс производства сахара с определенной степенью формализации и достоверности. Данная модель дает возможность определить уровень и степень взаимосвязи между результирующим показателем (выход сахара) и воздействующим компонентом (фактором производства) [15, 16].

Исследование отраслевой отчетной документации позволило сделать вывод, что основным показателем технологической эффективности производства сахара является его выход (Y). К основным технологическим параметрам следует отнести: X_1 – массу выработки свеклы в сутки (среднесуточная производительность), т; X_2 – уровень достижения нормы суточной производительности, %; X_3 – сахаристость корнеплодов при приемке, т. е. содержание сахарозы в сахарной свекле (дигестия), оценивается в процентах от массы исходного сырья (свеклы), %; X_4 – сахаристость корнеплодов при сдаче, %; X_5 – содержание сахара в свекловичной стружке, %; X_6 – потери сырья на поле, при транспортировке и хранении, % от исходной массы свеклы; X_7 – потери сахара в производственном процессе (факт), % от массы выработанного сахара; X_8 – процентное содержание сахара в мелассе (факт), %; X_9 – расход условного топлива (факт), %; X_{10} – расход известкового камня (факт), %.

Отмеченные параметры являются воздействующими факторами на результирующий показатель (выход сахара). С целью установления уровня и степени зависимости между отмеченными выше параметрами были использованы данные замеров (73 ед.), проведенных на различных сахарных заводах. Последние были сведены в единый массив и представлены в виде матрицы (73×10). Таким образом, была сформирована регрессионная модель на основе данных корреляционного анализа [17–19].

Теснота взаимосвязи между воздействующими факторами (X_i) и результирующим показателем (Y)

была оценена с помощью выборочного линейного коэффициента парной корреляции Пирсона по формуле:

$$r_{yx} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})(Y_i - Y_{cp})}{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2} \quad (1)$$

где X_i и Y_i – фактические данные величин, представленные в заводских производственно-технологических отчетах; X_{cp} и Y_{cp} – выборочные средние данные исследуемых величин:

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, Y_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

В таблице 1 приведена матрица коэффициентов корреляции технологических показателей свекло-сахарного производства в России [4].

Учитывая то, что процесс производства сахара очень сложен технологически и на конечный результат (выход сахара) могут оказывать влияние случайные величины, необходимо выполнить проверку полученных величин на статистическую значимость. Как итог, вероятность того, что результаты были получены в ходе случайных событий (флуктуаций), составляет всего 5 %. С экономической точки зрения все воздействующие факторы можно сгруппировать:

– Первая группа включает показатели среднесуточной производительности (X_1), т; уровень достижения нормы суточной производительности (X_2), % от плановой. Коэффициенты корреляции этих величин с выходом готовой продукции (Y), составили $r_{yx_1} = -0,08$; $r_{yx_2} = 0,33$.

– Вторая группа включает показатели сахаристости свеклы – дигестия свеклы при приемке (X_3), %; дигестия свеклы при сдаче (X_4), %; сахаристость свекловичной стружки (X_5), %. Коэффициенты корреляции этих величин с выходом готовой продукции (Y) составили соответственно $r_{yx_3} = 0,79$; $r_{yx_4} = 0,81$; $r_{yx_5} = 0,85$. Все

данные производственные показатели демонстрируют сильную взаимосвязь с результирующей переменной (Y).

– Третья группа включает показатели потерь при производстве сахара – потери при хранении и транспортировке (X_6), %; фактические потери сахара в производстве (X_7), %; фактическое содержание сахара в мелассе (X_8), %. Коэффициенты корреляции этих величин с выходом готовой продукции (Y) составили $r_{yx_6} = -0,52$; $r_{yx_7} = -0,44$; $r_{yx_8} = -0,50$.

– Четвертая группа объединяет показатели расхода топлива и вспомогательных материалов, фактический расход условного топлива (X_9), %; фактический расход известкового камня (X_{10}), %. Коэффициенты корреляции перечисленных величин с выходом готовой продукции (Y) составили $r_{yx_9} = -0,11$; $r_{yx_{10}} = -0,18$.

На основе полученных данных были составлены линейные модели множественной регрессии. Проведен расчет детерминации и t -статистики для выяснения значимости соответствующих коэффициентов. Отбор наиболее действенных моделей проводился по методологии Акаике (AIC) и Шварца (BIC) [20–23]. Установлено, что наибольшее влияние на результирующий показатель (выход сахара (Y)) оказывают следующие параметры: среднесуточная производительность (X_1), т; содержание сахара в свекловичной стружке (X_5), %; потери сахара в рамках производственного процесса (факт) (X_7), %; расход условного топлива (факт) (X_9), %. Применен метод наименьших квадратов (МНК) с целью определения значений коэффициентов модели (табл. 2) [4].

Таким образом, модель регрессии приняла следующий вид:

$$Y = -7,02 \times 10^{-5} X_1 + 0,95 X_5 - 1,15 X_7 - 0,11 X_9 + \varepsilon \quad (2)$$

Расчетные данные параметров таковы: $R^2 = 0,93$ ед. (детерминация); 7,23 ед. (оценочный критерий Акаике

Таблица 1. Матрица коэффициентов корреляции технологических показателей свеклосахарного производства в РФ [4]

Table 1. Correlation coefficients of technological indicators in Russian sugar beet production [4]

	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
Y	1										
X_1	-0,08	1									
X_2	0,33	0,16	1								
X_3	0,79	0,07	0,20	1							
X_4	0,81	0,07	0,22	0,99	1						
X_5	0,85	0,04	0,23	0,98	0,99	1					
X_6	-0,52	0,18	-0,19	-0,14	-0,18	-0,31	1				
X_7	-0,44	0,08	-0,25	0,14	0,11	0,06	0,40	1			
X_8	-0,50	0,35	-0,18	-0,09	-0,12	-0,17	0,46	0,35	1		
X_9	-0,11	-0,68	-0,18	-0,17	-0,17	-0,14	-0,13	0,04	-0,13	1	
X_{10}	-0,18	-0,40	0,03	-0,29	-0,29	-0,27	-0,02	-0,10	-0,01	0,65	1

Таблица 2. Коэффициенты регрессионной модели производства сахара [4]

Table 2. Regression model coefficients in sugar production [4]

Фактор производства сахара	Коэффициент модели	Стандартная ошибка коэффициента	t-статистика	p-значение для оценки значимости фактора производства
Среднесуточная производительность, X_1 , т	-7,02E-05	1,21E-05	-5,758	< 0,0001
Сахаристость свекловичной стружки, X_5 , %	0,953368	0,0118075	80,740	< 0,0001
Потери сахара в производстве (факт), X_7 , %	-1,15373	0,0515600	-22,380	< 0,0001
Расход условного топлива (факт), X_9 , %	-0,106975	0,0376212	-2,843	0,0059

(AIC)); 1,93 ед. (оценочный критерий Шварца (BIC)). Отмеченные критерии имеют минимальные значения из всех полученных. Расчет p -значения подтвердил значимость детерминации коэффициентов (факторов производства сахара), т. к. значение последнего составило 0,01 (1 %). Можно сделать вывод, что все отмеченные факторы имеют существенное влияние на результирующий показатель модели, т. е. на уровень выхода сахара в ходе технологического процесса.

В настоящее время экономическая оценка ресурсосберегающей и хозяйственной деятельности отечественных сахарных заводов основывается на использовании данных финансовой отчетности, соответствующих международным стандартам. Основные результаты определяются эффективностью организации производственно-технологических процессов [24–27]. Для повышения достоверности и объективности оценки необходимо дополнить перечень технологических параметров экономическими, в том числе технологической себестоимостью (СБ_т).

К основным показателям оценки отраслевой эффективности стоит отнести: выход сахара (B_{cx}); потери сахара и свеклы (Π); коэффициент завода / коэффициент производства или использования сырья (K); фактический расход извести ($P_{и}$); фактический расход условного топлива ($P_{усл.}$).

Среди ограничений данных показателей выделим недостаток их информативности. В реальных производственных процессах они взаимосвязаны и воздействуют друг на друга: выход сахара существенно зависит от дигестии, потерь и расхода топлива; полнота извлечения сахара находится в прямо пропорциональной зависимости от расхода топлива и энергии.

Если рассматривать технологический процесс производства сахара с чисто экономической точки зрения, то важнейшим показателем эффективности будет удельная прибыль (УП), которая представляет собой разность между отпускной ценой (Π_0) и полной себестоимостью (СБ). Себестоимость единицы продукции можно определить как аккумулированную сумму затрат, соотношенную с общим количеством выработанного готового продукта (сахара):

$$СБ = \frac{M_{cb} \times \Pi_{cb} + M_t \times \Pi_t + M_{bm} \times \Pi_{bm} + 3_{п}}{M_{cx}} \quad (3)$$

где M_{cx} – объем выработки сахара, т; M_{cb} , M_t , M_{bm} – расход свеклы, топлива и вспомогательных материалов, т; $3_{п}$ – величина заработной платы персонала; Π_{cb} – отпускная цена потребленной свеклы, руб./т; Π_t – отпускная цена потребленного газа, руб./м³; Π_{bm} – отпускная цена потребленных вспомогательных материалов, руб./т.

В технико-экономическом учете сахарного производства расходы сырья, материалов и топлива выражаются в процентах от массы переработанного сырья (свеклы):

$$M_{cb} = \frac{M_{cb} \times УР_{cb}}{100} \quad (4)$$

$$M_t = \frac{M_{cb} \times УР_t}{100} \quad (5)$$

$$M_{bm} = \frac{УР_{bm} \times M_{cb}}{100} \quad (6)$$

$$M_{cx} = \frac{M_{cb} \times B_{cx}}{100} \quad (7)$$

$$3_{п} = \frac{3_{пу} \times M_{cb}}{100} \quad (8)$$

Формулы (4–8) определяют величину расхода соответственно сырья, топлива, материалов и заработной платы на 100 кг сырья (сахарной свеклы). Так как в экономических расчетах расходы ресурсов соотносятся с величиной выхода готовой продукции, то подставляя зависимости (4–8) в уравнение (3), получим аналитическую формулу для расчета себестоимости:

$$СБ = \frac{100 \times \Pi_{cb}}{B_{cx}} + \frac{УР_t \times \Pi_t}{B_{cx}} + \frac{УР_{и} \times \Pi_{и}}{B_{cx}} + \frac{\sum УР_{bm} \times \Pi_{bm}}{B_{cx}} + \frac{3_{пу}}{B_{cx}} \quad (9)$$

где 100 обозначает удельный расход сахарной свеклы $УР_{cb}$, равный 100 %; $УР_t$ – удельный расход топлива, %; $УР_{и}$ – удельный расход извести, %; $\sum УР_{bm}$ – удельный расход других вспомогательных материалов, %; $3_{пу}$ – удельный расход заработной платы, в % от стоимости переработанной свеклы.

Чтобы оценить показатели эффективности производственной составляющей выработки сахара целесо-

образно использовать так называемую технологическую себестоимость ($СБ_t$):

$$СБ_t = \frac{100 \times Ц_{св}}{В_{сх}} + \frac{УР_t \times Ц_t}{В_{сх}} + \frac{УР_{и} \times Ц_{и}}{В_{сх}} \quad (10)$$

Данную расчетную формулу преобразуем, заменив выход сахара ($В_{сх}$) на произведение сахаристости ($СХ_{св}$) и коэффициента завода ($К$):

$$СБ_t = \frac{100 \times Ц_{св}}{К \times СХ_{св}} + \frac{УР_t \times Ц_t}{В_{сх}} + \frac{УР_{и} \times Ц_{и}}{В_{сх}} \quad (11)$$

На основе использования показателя технологической себестоимости расчетная формула для оценки удельной прибыли будет такова:

$$УП = Ц_0 - \left(\frac{100 \times Ц_{св}}{К \times СХ_{св}} + \frac{T \times Ц_t}{В_x} + \frac{T_{и} \times Ц_{и}}{В_x} \right) \quad (12)$$

Важно вести учет влияния уровня производительности завода на технологическую себестоимость: $СБ_t / П_p$, где $П_p$ – производительность завода за сезон.

Технологическая эффективность сахарного производства напрямую определяется долей стоимости свеклы, топлива и материалов в технологической себестоимости 1 т сахара. В данном случае, если доля затрат на сахарную свеклу в технологической себестоимости составляет около 92 %, то следует говорить о заводе первой группы технологической эффективности (расход топлива – 6–6,5 %); если 89–90 % – завод второй группы технологической эффективности (расход топлива – 8,5–9 %) [12]. Проведенные расчеты на примере объекта исследования показали, что доля стоимости свеклы в технологической себестоимости сахара за последние три сезона составляла 92,1 %, что относит его к заводу первой группы технологической эффективности.

Результаты научных опытов (отечественных и зарубежных) и учетная практика отраслевого хозяйствования показывают, что технологические улучшения способны снизить производственно-технологические издержки более чем на 70 % (снижение уровня удельного расхода топлива, известняка, вспомогательных материалов) и положительным образом отражаться на общей эффективности и конкурентоспособности отраслевых предприятий.

В рамках проведенного исследования были выделены наиболее актуальные на текущий момент направления рационализации отраслевых производственно-технологических процессов, в том числе:

- известково-углекислотная очистка свекловичного сока;
- выпаривание диффузионного сока;
- уваривание и кристаллизация утфелей (кристаллы сахарозы и межкристалльный раствор).

В настоящее время существует большое количество способов известково-углекислотной очистки сока, каждый из них имеет как положительные, так и отри-

цательные стороны. Подробно рассмотрим основные направления реализации более эффективных технологических решений на этапе известково-углекислотной очистки свекловичного сока [4, 6–8].

1. На этапе предварительной дефекации важно обеспечить высокие показатели осаждения неорганических примесей и органических высокомолекулярных соединений. При этом сам образующийся осадок должен быть устойчив к воздействию щелочной среды (рН) и температур (t , °С). Наиболее оптимальным температурным режимом следует считать 30–40 °С, однако в рамках реализации принципа ресурсосбережения (вторичное использование тепла утфельных паров и их конденсатов) применяется температурный режим 55–60 °С.

2. Процесс дефекации должен сопровождаться максимально высоким уровнем разложения неорганических примесей и органических соединений, а также способствовать накоплению извести на этапе I сатурации. В процессе очистки происходит существенная трансформация высокомолекулярных соединений на более простые, которая должна быть полностью завершена до процесса выпаривания. В качестве критериев оценки эффективности технологического процесса на данном этапе следует привести: содержание редуцирующих веществ (не более 0,02 %); разложение амидов (max); аминокислотный состав остается прежним.

Таким образом, процесс очистки существенно зависит от температуры (t , °С), уровня щелочной среды (рН) и продолжительности работы. Показатель щелочности непосредственно определяется количеством используемой извести (CaO), но ее влияние ограничено. Так, при концентрации извести 1,4–1,5 % обеспечивается максимальный уровень рН, равный 12,2 ед.; при дальнейшем увеличении уровень рН остается практически постоянным. Если продолжительность процесса очистки сократить на 10 мин, то фильтрационные свойства останутся приемлемыми, но качество сахарного сиропа снизится. С ростом температуры (> 50 °С) отмечается замедление процесса фильтрации по причине увеличения осадочной части, поэтому важно поддерживать температуру среды не более 50 °С.

3. В рамках этапа I сатурации основной задачей является выделение в растворе $CaCO_3$ и проведение за счет него очистки несахаров (адсорбции). Максимальная эффективность данного процесса достигается при щелочности раствора, соответствующего массовой доле CaO (негашеная известь) – 0,11–0,12 %. Увеличение доли извести приводит к повышению качества очистки: если рН возрастет с 10,7 до 11,1, то эффективность очистки увеличивается с 32 до 36 %, при этом от температуры качество процесса практически не зависит. Оптимальная продолжительность первой стадии составляет 10 мин; если продолжительность процесса будет меньше отмеченного значения, то обеспечить оптимальный уровень рН представляется невозможным. Эффективность очистки диф-

фузионного сока от несахаров с каждой сатурацией снижается – на второй сатурации несахаров удаляется в 3 раза меньше, чем на этапе преддефекации.

4. На этапе II сатурации необходимо обеспечить требуемый уровень щелочности ($\text{pH} \approx 8,0\text{--}8,5$). Также должен соблюдаться оптимальный температурный режим ($\geq 95^\circ\text{C}$).

5. Актуальной задачей для отраслевых заводов является снижение либо более эффективное использование всех видов ресурсов, стоимость которых перманентно увеличивается на рынке. В частности, значительным резервом снижения является уменьшение расхода извести. Как отмечают отраслевые эксперты, это возможно реализовать на практике за счет таких факторов, как качество исходного сырья (сахарная свекла); технико-технологическое обеспечение процесса фильтрования; технология очистки диффузионного сока. В процессе известково-углекислотной очистки диффузионного сока удаляется порядка 40 % всех несахаров. Таким образом, устанавливая лабораторным путем количественное содержание несахаров в диффузионном соке посредством применения уравнения Фрейндлиха (13), можно рассчитать оптимальный расход извести (CaO):

$$a/m = 0,651 \times C^{0,3} \quad (13)$$

где a/m – количество адсорбированного вещества на единицу массы адсорбента; C – концентрация адсорбента в растворе [28–30].

Общий алгоритм расчета оптимального расхода извести:

- 1) рассчитывается содержание несахаров путем разности количества сухих веществ и сахарозы;
- 2) выносятся максимальное количество несахаров, которое может быть удалено из диффузионного сока (40 % от общего содержания);
- 3) исходя из эффективности станции очистки рассчитывается фактическое количество несахаров, которое будет удалено из диффузионного сока – a ;
- 4) обозначается разность между максимальным количеством несахаров, которое возможно удалить из диффузионного сока, и фактическим – C ;
- 5) подставив значения полученных параметров в уравнение (13), можно рассчитать оптимальный расход извести (m), который пойдет на очистку диффузионного сока:

$$m = a / (0,651 \times C^{0,3}) = 1,78 \% \text{ к массе свеклы} \quad (14)$$

Данный расчетный алгоритм целесообразно использовать именно в оперативном контроле расхода извести.

Проведенные исследования позволили определить перечень наиболее действенных решений по сокращению расхода извести в процессе очистки диффузионного сока [3–6, 8, 31]:

Обеспечение тщательной подготовки известкового молока с содержанием в нем CaO (не менее 270–310 г/л при плотности 1,19–1,22 г/см³) и предупреждение перерасхода на очистку за счет автоматизации системы дозирования.

Более тщательная отмывка свеклы, способствующая снижению песка в твердом балласте и растворимых кремниевых соединений в диффузионном соке, а также улучшению фильтрационных свойств очищенного сока.

Исключение или сведение к минимуму возврата сока I сатурации на предварительную дефекацию, что способствует уменьшению продуктового верстата и снижению расхода извести на 0,25–0,30 % к массе свеклы.

Максимальное снижение откачки диффузионного сока, способствующее меньшему расходу известкового молока.

Исключение падения уровня сока в напорных сборниках меньше нижнего предела, используя для фильтрования все оборудование с целью уменьшения сопротивления фильтрующей перегородки.

Обеспечение постоянного контроля соотношения расчетного и фактического расхода известкового молока.

Снижение расхода извести на дефекации перед II сатурацией в 1,5–2 раза за счет рационального регламента на предварительной и основной дефекации будет обеспечивать минимальное содержание в соке веществ, образующих растворимые соли кальция.

Использование для обессахаривания суспензии сока I сатурации камерных фильтров, способных отделить осадок с более низкими фильтрационными свойствами, полученными при очистке сока с меньшим расходом извести.

Отрицательной стороной известково-углекислотной очистки диффузионного сока является остаточное содержание солей кальция. Среди основных причин такового можно выделить: превышенное количество аминокислот, побочных веществ распада инвертного сахара и пектиновых соединений из-за нарушения технологических режимов; применение в технологическом процессе барометрической воды; высокие показатели щелочности; пересатурирование диффузионного сока.

Наиболее экономически целесообразны актуальны и способы снижения концентрации солей кальция в диффузионном соке [4–6, 12, 14].

1. Повышение величины натуральной щелочности сока II сатурации. При переработке свеклы с низкой натуральной щелочностью получить сироп со щелочной реакцией можно тремя способами:

- сок II сатурации сатурировать до более высокой щелочности (0,03 % CaO , что примерно на 0,005–0,01 % выше оптимальной), что увеличивает концентрацию растворимых солей кальция и позволяет избежать получения кислых сиропов;
- перед или после II сатурации добавлять в сок каустическую соду (NaOH), где она превращается в кальци-

нированную соду (Na_2CO_3). Расход каустической соды при этом будет в два раза больше, чем кальцинированной. Если сода вводится в смеси с тринатрийфосфатом (Na_3PO_4), то такую смесь рекомендуется добавлять только после сатурации. Этот способ позволяет получить более термоустойчивый сок с меньшим отложением солей кальция на выпарной станции, однако важно учитывать, что эти реагенты могут образовывать мелассы;

– перед II сатурацией вместо соды вводится часть оксида магния (MgO), после чего сок пересатуривается до щелочности 0,01 % CaO . Оставшуюся часть MgO добавляют после сатурации, перед фильтрацией. Способ позволяет снизить содержание солей кальция в соке примерно на 50 %. Катион Mg^{++} является слабым мелассообразователем. Расход оксида магния составляет 0,25 кг на 1 т свеклы, что эквивалентно расходу кальцинированной соды.

2. Умягчение сока при помощи ионообмена:

– наиболее эффективным является один из способов Грилуса и TASCRO, где исключен сброс регенерационных стоков на очистные сооружения. Раствор гипса вместе с питательной водой поступает в диффузионную установку. Однако следует учитывать, что при температуре свыше 65 °C гипс выпадает в виде осадка в трубопроводах.

Обозначим основные аспекты совершенствования процесса выпаривания диффузионного сока. Данный процесс существенно влияет на конечные показатели качества и потребительские свойства готового продукта (сахара свекловичного), такие как разложение сахарозы, повышение цветности сока, изменение щелочности сока, образование осадков.

1. Разложение сахарозы. Процесс распада сахарозы на моносахариды зависит от температуры среды, продолжительности выпаривания и концентрации сухих веществ. На рисунке 1 приведена экспериментальная кривая степени разложения сахарозы от температуры воздействия. При этом общая продолжительность всего процесса составляла 60 мин, а концентрация сахарозы – 15 %.

Потери сахарозы на данном этапе обусловлены рядом причин: паровой поток, пенообразование, отсутствие должного уровня герметизации паровой камеры [32]. Если исходное сырье – хорошего качества, а режим работы выпарной установки соответствует технико-технологическим требованиям, то потери сахарозы не превышают 0,1 %.

2. Повышение цветности сока. Показатель цветности может изменяться из-за нарушения режима межкорпусной циркуляции и переизбытка диффузионного сока. Кроме того, на цветность негативно влияет недостаток извести при низкой температуре и увеличенной продолжительности выпаривания сока.

3. Изменение щелочности сока. Показатель щелочности может как повышаться, так и понижаться, в частности, первое может быть обусловлено ростом

концентрации кислых солей ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и KHCO_3) при пересатурации, а второе – распадом амидов до аминокислот.

4. Образование осадков. В процессе выпаривания жидкость испаряется, а концентрация сухих веществ возрастает, что приводит к выпадению в осадок плохо растворимых солей (CaSO_4 , CaSO_3). Для предотвращения прикипаний на корпусах выпарных аппаратов применяются ингибиторы, механизмы действия которых зависят от их состава. Масса накипи при переработке 1 тонны сахарной свеклы колеблется от 1 до 4 г и зависит от таких факторов, как качество свеклы, скорость циркуляции, удельное напряжение нагревательной поверхности, конструкция выпарных аппаратов, частота чистки, состав накипи, методы очистки фильтрационного сока и концентрация сухих веществ.

Ключевые особенности процесса выпаривания фильтрационного сока [6, 7, 12, 14]:

– при сгущении сока на поверхности теплообмена образуется примерно 200 мг осадка на 1 кг несахаров очищенного сока. Из этого объема 80 % осажается на нагревательных поверхностях корпусов, а 20 % находятся во взвешенном состоянии в виде шлама;

– увеличение скорости циркуляции сока до 1,1 м/с позволяет снизить количество накипи на поверхности нагрева примерно в 2 раза, однако дальнейшее увеличение скорости до 3 м/с не дает заметного эффекта. Распределение накипи по длине трубы остается неравномерным: на экономайзерном участке ее откладывается в 2–3 раза меньше, чем на испарительном;

– скорость циркуляции по-разному влияет на накипеобразователи: при отрицательном коэффициенте растворимости осадки требуют высокой скорости циркуляции для их удаления с нагревательной поверхности, тогда как при положительном – небольшие скорости потока способны предотвращать их пригорание;

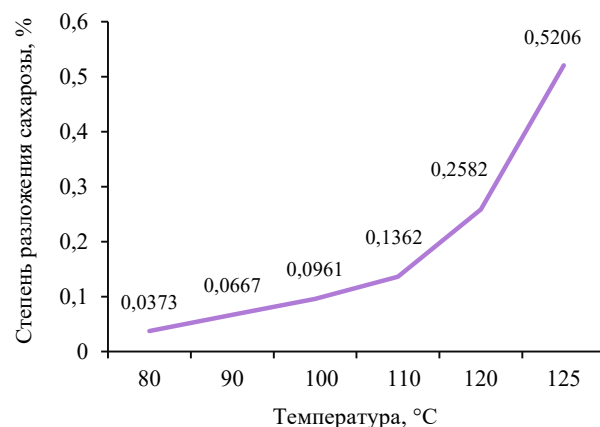


Рисунок 1. Зависимость разложения сахарозы от температуры (составлено авторами на основе источника [33])

Figure 1. Effect of temperature on sucrose decomposition [33]

– кальциевые соли кремниевой кислоты особенно вредны для теплопередачи, т. к. образуют наиболее твердую накипь, равномерно оседающую на всех корпусах выпарной установки. В отдельных случаях их концентрация возрастает в последних корпусах, что усугубляет проблему;

– количество накипи, отлагающейся в корпусах выпарной станции, варьируется следующим образом: I ступень – до 15 %; II ступень – 25–30 %; III ступень 40–50 %; IV ступень – до 10 %. При одинаковой толщине слоя накипи снижение коэффициента теплопередачи на I ступени более значительное, чем на IV. Поэтому к очистке выпарной станции целесообразно приступать, когда толщина осадка на I ступени составляет не более 0,5 мм, а на IV – не более 3 мм.

Определенные оксиды, такие как F_2O_3 и Al_2O_3 , обычно присутствуют только в первых корпусах выпарной установки. Их растворимость существенно зависит от щелочности раствора (рис. 2).

Еще одним из важнейших компонентов накипи является карбонат кальция ($CaCO_3$). Основное его содержание также сосредоточено в первых корпусах. Показатель его растворимости обратно пропорционально связан с ростом уровня сухих веществ в фильтрационном соке и прямо пропорционально – с ростом температуры среды. Максимальный показатель концентрации данной соли в накипи иногда может составлять ~40 %.

Гипсовая накипь ($CaSO_3$, $CaSO_4$) может накапливаться в значительных объемах, что сказывается на ее плотности и теплопроводности. При повышении плотности теплопроводность возрастает: для гипсовой накипи она составляет 1,5–2,0 Вт/мК, тогда как у пористой накипи – не более 0,5–0,8 Вт/мК [12].

Ключевым фактором экономии в процессе уваривания и кристаллизации утфелей является рациональное расходование пара при оптимальной продолжитель-

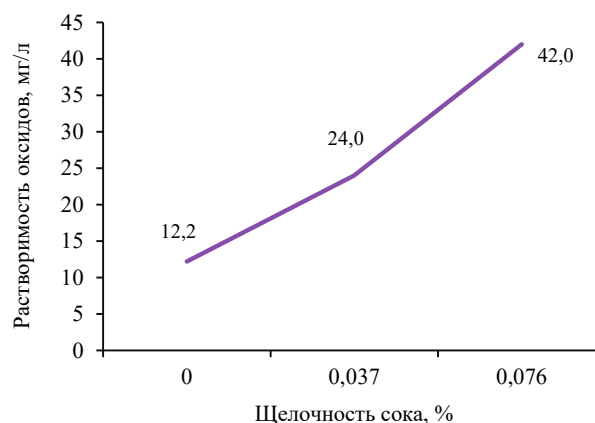


Рисунок 2. Зависимость растворимости оксидов от щелочности сока (составлено авторами на основе источника [4])

Figure 2. Effect of juice alkalinity on oxide solubility [4]

ности. Для поддержания баланса между скоростью выпаривания и кристаллизации необходимо соблюдать пропорцию: на 1 кг сахара в пересыщенном состоянии должно приходиться 60 м² суммарной поверхности растущих кристаллов. Также важно придерживаться принципа многоступенчатости, который повышает эффективность процесса.

Экспериментальные зависимости размеров кристаллов от чистоты утфельных масс представлены в таблице 3. Если соблюсти режим экономии расхода топлива, то в рамках двухпродуктовой схемы размер кристаллов будет составлять не более 0,3–0,4 мм, а если будет применяться трехпродуктовая схема, то данный показатель будет составлять уже 0,6–0,7 мм.

В процессе кристаллизации очень важно соблюдать точную дозировку затравки и маточного утфеля.

Таблица 3. Зависимость размера кристалла от чистоты утфельных масс

Table 3. Effect of massecuite purity on crystal size

Кристаллическая структура утфеля	Чистота утфеля, %	Необходимая кристаллическая основа и очередность кристаллизации				Размер кристаллов производственного утфеля, мм	Кратность кристаллизации
		Паста (Слурри) <i>d</i> = 0,008–0,01 мм	Холодный кристаллизат <i>d</i> = 0,01 мм	Маточный утфель I <i>d</i> = 0,2–0,3 мм	Маточный утфель II <i>d</i> = 0,5–0,6 мм		
Утфель I							
Мелкий кристалл	90–94	+	+			0,3–0,4	2
Средний кристалл	90–94	+	+	+		0,6–0,7	3
Крупный кристалл	90–94	+	+	+	+	0,9–1,0	4
Утфель II	83–87	+	+	+		0,5–0,6	3
Утфель III	75–77	+	+			0,2–0,3	2

Примечание: Составлено авторами на основе источника [12].

Note: Compiled by the authors [12].

Расчетная формула для определения объема затравочной пасты (V_3 , л):

$$V_3 = \frac{V_{\text{пасты}} \times M_y \times K \times d^3}{100 \times M_{\text{сх.п.}} \times D^3} \quad (17)$$

где $V_{\text{пасты}}$ – объем получаемой пасты, л; M_y – масса получаемого утфеля, кг; $M_{\text{сх.п.}}$ – масса сахара пасты, кг; K – содержание кристаллов в готовом утфеле, %; d – размер частиц пасты, мм; D – размер кристаллов готового утфеля, мм.

С учетом среднеотраслевых показателей отдельных параметров ($V_{\text{пасты}} = 5,145$ л; $M_{\text{сх.п.}} = 1,82$ кг) формула (17) принимает вид:

$$V_3 = \frac{0,002827 \times M_y \times K \times d^3}{100 \times M_{\text{сх.п.}} \times D^3} \quad (18)$$

Для расчета количества маточного утфеля, которое необходимо ввести в вакуум-аппарат при уваривании основного утфеля, применяется расчетная формула:

$$M_m = \frac{M_y \times K \times d^3}{K_m \times D^3} \quad (19)$$

Уровень потерь сахара в мелассе зависит от ее общего объема, а также процентного содержания сахара и несахаров. Приведенные показатели зависят от качества перерабатываемой свеклы и параметров диффузионного сока. Экспериментальным путем установлено, что если чистота диффузионного сока изменяется на 1 %, то содержание сахара в мелассе – на 0,15 %. Из этого следует, что качество исходного сырья (сахарной свеклы) является ключевым фактором, оказывающим воздействие на уровень выхода сахара (табл. 4).

Способы минимизации остатков сахара в мелассе, которые наиболее часто применяются на современных отраслевых производствах [3–6]:
– уваривание утфелей при пониженной температуре, что приводит к снижению содержания сахара в межкристалльном растворе;

– поддержание сухих веществ, чистоты, содержания кристаллов в утфеле на оптимальном уровне, исходя из параметров нормативной мелассы;
– недопущение снижения концентрации сухих веществ утфеля при пропаривании вакуум-аппарата, не более 0,5 %;
– доведение сваренного утфеля в процессе его кристаллизации до оптимальных параметров перед центрифугированием. При снижении концентрации сухих веществ перед центрифугированием ниже оптимальной величины на 1 % потери сахара в мелассе возрастают на 0,15 % к массе свеклы;
– выдерживание кристаллоструктуры утфеля I на уровне 0,5–0,7 мм. При увеличении среднего размера кристаллов сахара на 0,05 мм концентрация сухих веществ отделяемой мелассы возрастает на 0,7–1,0 %. Чистота мелассы уменьшается на 1 %, а содержание сахара в ней – на 0,1 % к массе свеклы соответственно;
– исключение разбавления утфеля перед центрифугированием водой и возможности его охлаждения;
– постоянный контроль работы центрифуг, когда разница между чистотой межкристалльного оттека и заводской мелассы не должна превышать 0,5 %. Проскок мелких кристаллов сахара через сито центрифуги в количестве 1 % приводит к увеличению чистоты мелассы на 0,3 %. Через сито с размером ячеек 40 и 60 мкм в оттек проскакивает 0,1–1,5 и 0,4–2,2 % мелких кристаллов соответственно, т. е. замена сита с размером ячеек 60 мкм на сито с размером ячеек 40 мкм снижает чистоту мелассы на 0,5 %.

В рамках оперативного контроля выполняется оценка частоты нормативной мелассы:

$$Ч_{\text{н.м.}} = Ч_{\text{с}} - Э_{\text{к}} \quad (20)$$

где $Ч_{\text{с}}$ – чистота сиропа, %; $Э_{\text{к}}$ – эффект кристаллизации, %, (~30–35 %).

Концентрации сухих веществ рассчитывается по следующей формуле:

$$СВ_{\text{н.м.}} = 75,5 + 0,2t \quad (21)$$

где t – температура центрифугируемого утфеля, °С.

Таблица 4. Потери сахара в мелассе в зависимости от чистоты диффузионного сока

Table 4. Effect of diffusion juice purity on sugar loss in molasses

Чистота диффузионного сока, %	Эффект очистки диффузионного сока, %	Чистота сиропа, %	Чистота мелассы, %	Потери сахара в мелассе, % к массе свеклы
84	26,6	87,8	55,3	2,37
85	28,5	88,8	56,3	2,22
86	29,1	89,7	57,2	2,13
87	31,7	90,3	58,3	1,99
88	33,4	91,3	58,8	1,89
89	35,2	92,6	60,1	1,72
90	37,0	93,5	61,0	1,58
91	38,8	94,3	61,8	1,43

Примечание: Составлено авторами на основе источника [14].

Note: Compiled by the authors [14].

Оценка сахара в утфеле ведется по формуле:

$$CX_{\text{ут.}} = \frac{100(CX_{\text{н.м.}} + K) - K \times CX_{\text{н.м.}}}{100} \quad (22)$$

где $CX_{\text{н.м.}}$ – содержание сахара в нормативной мелассе, %; K – количество кристаллов в утфеле, %.

Оценка содержания сухих веществ центрифугируемого утфеля проводится по формуле:

$$CX_{\text{п.у.}} = \frac{100A_{\text{м.}} + CB_{\text{п.у.}}}{A_{\text{м.}}} \quad (23)$$

где $A_{\text{м.}}$ – концентрация несахаров в воде в нормальной мелассе, которая выражается отношением:

$$A_{\text{м.}} = \frac{HCX}{H_2O} \quad (24)$$

Оценка чистоты центрифугированного утфеля проводится по формуле:

$$Ч_{\text{п.у.}} = \frac{CX_{\text{п.у.}}}{CB_{\text{п.у.}}} \cdot 100 \quad (25)$$

Выводы

На основе общепромышленных данных производственного учета была установлена корреляционная связь между результирующим параметром (выход сахара) и воздействующими факторами (производительность; сахаристость; потери свеклы и сахара; расход условного топлива и извести). Исходя из этого, были составлены линейные модели множественной регрессии, в рамках каждой выполнен расчет коэффициента детерминации и проведена оценка значимости коэффициентов модели на базе t -статистики. Окончательный выбор лучшей модели был сделан на основе критериев Акаике (AIC) и Шварца (BIC).

Установлено, что наибольшее влияние на выход сахара оказывают следующие факторы: среднесуточная производительность; сахаристость свекловичной стружки; фактические потери сахара в производстве; фактический расход условного топлива. Оценка коэффициентов модели была проведена методом наименьших квадратов (МНК). Апробация методического подхода к оценке технологической эффективности сахарного производства показала, что предприятие относится к первой группе отраслевых заводов. Пред-

ложенную расчетную модель целесообразно применять на тактическом уровне управления для оценки эффективности смен, проведения анализа в режиме реального времени и оперативного выявления проблем. Доказано, что совершенствование управления технологическими процессами может снизить расход топлива без значительных затрат, увеличив доходность и качество продукции. Применение методов математического моделирования, в частности регрессионно-статистических методов, позволяет рассчитывать на получение заданных параметров свекло-сахарного производства, технологически улучшающих его производственные и управленческие характеристики, а использование прогрессивных методик и способов – более эффективно организовать переработку свеклы на сахарных заводах (+32 %), уменьшить расход известнякового камня (~23 %), топлива (~18 %) и вспомогательных материалов (~14 %).

Критерии авторства

С. К. Мизанбекова – инициатор и организатор проекта. И. П. Богомолова – руководство исследованием, контроль и оценка результатов. И. Н. Василенко – обработка информации, проведение расчетов, обоснование результатов, формулировка выводов и составление рекомендаций. Н. М. Шатохина – сбор информации, обоснование перспективности использования различных методов и подходов к обработке информации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

S.K. Mizanbekova initiated and organized the project. I.P. Bogomolova supervised the research and assessed the results. I.N. Vasilenko was responsible for the data processing, calculations, verification, conclusions, and recommendations. N.M. Shatokhina wrote the review.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Белкин Р. Е., Векленко Е. В., Золотарев А. А., Михилев А. В. Государственная поддержка производства сахарной свеклы. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2. С. 15–17. [Belkin RE, Veklenko EV, Zolotarev AA, Mihilev AV. State support for sugar beet production. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2022;(2):15–17. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/SYJHQP>
2. Болохонцева Ю. И. Свеклосахарный подкомплекс: обоснование перехода на инновационный путь развития. Региональная экономика: теория и практика. 2023. № 19. С. 57–63. [Bolohonceva YuI. Sugar beet subcomplex: Justification for innovative development shift. Regional Economics: Theory and Practice. 2023;(19):57–63. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/NTKDJJP>
3. Быканова С. А. Факторы, замедляющие развитие научно-технического прогресса в свеклосахарном подкомплексе АПК. Вестник Курской сельскохозяйственной академии. 2022. № 3. С. 23–25. [Bykanova SA. Development

inhibitors in sugar beet scientific and technological progress. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2022;(3): 23–25. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TTYLYH>

4. Громковский А. И., Громковский А. А. Моделирование результатов производства сахара по технико-экономическим факторам. Сахар. 2020. № 10. С. 46–49. [Gromkovskii AI, Gromkovskii AA. Modeling the results of sugar production based on technical and economic factors. Sugar. 2020;(10):46–49. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/DUMJAN>

5. Золотарева Е. Л., Архипов К. В. Ресурсосберегающие технологии – приоритетное направление развития растениеводства. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2021. № 7. С. 51–53. [Zolotareva EL, Arhipov KV. Resource-saving technologies as first-priority line to develop plant growing. Economy of agricultural and processing enterprises. 2021;(7):51–53. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/NYEAZD>

6. Круглик С. В. Об оптимизации технологии на отдельных стадиях производства сахара. Сахар. 2020. № 4. С. 27–35. [Kruglik SV. Optimizing the technology at individual sugar production stages. Sugar. 2020;(4):27–35. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/POAAJY>

7. Перевертова Т. А. Проблемы обеспечения инновационного развития свеклосахарного комплекса России. Социально-экономические явления и процессы. 2020. № 2. С. 84–89. [Perevertova TA. Problems of ensuring of innovative development of the beet sugar complex of Russia. Socio-economic Phenomena and Processes. 2020;(2):84–89. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/QATHRZ>

8. Полухин А. А., Алпатов А. В., Ставцев А. Н., Алексеев К. И., Романов А. Д. и др. Технический потенциал производства сахарной свеклы как фактор эффективного развития отрасли. Сахарная свекла. 2022. № 2. С. 12–14. [Polukhin AA, Alpatov AV, Stavtsev AN, Alekseyev KI, Romanov AD, et al. Technical potential of manufacture of a sugar beet as the factor of effective development of branch. Sugar Beet. 2020;(2):12–14. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/QIMENV>

9. Солошенко Р. В. Совершенствование механизма эффективного функционирования свеклосахарного подкомплекса АПК. Экономические науки. 2013. № 99. С. 123–127. [Soloshenko RV. Improving the efficiency of the sugar beet agro-industrial subcomplex. Economic Sciences. 2013;(99):123–127. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/QJFZVX>

10. Итоги 2024: сахар и свекла (25-12-2024). Торговая площадка Grain Business. [Results for 2024: Sugar and beetroot (25-12-2024). Grain Business Trading Platform. [cited 2025 Feb 12]. (In Russ.)] Available from: <https://www.grain-business.ru/news/aneews-ikar-15339/>

11. Иванов Е. В. Как проходит свеклосахарная кампания России в сезоне 2022/2023. Сахарная свекла. 2022. № 10. С. 10–14. [Ivanov EV. How is Russia's sugar beet campaign going in the 2022/2023 season. Sugar Beet. 2022;(10):10–14. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/SVLGNQ>

12. Громковский А. И., Громковский А. А., Громковская Н. А. Оценка эффективности свеклосахарного производства с учетом урожайности свеклы и длительности сезона. Сахар. 2018. № 2. С. 42–45. [Gromkovskii AI, Gromkovskii AA, Gromkovskaia NA. Efficiency of sugar beet production based on sugar beet yield and season length. Sugar. 2018;(2):42–45. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YWXQIQ>

13. Balandin D, Egamov A, Kuzenkov O, Pristavchenko O, Vildanov V. Mathematical modelling and optimization of scheduling for processing beet in sugar production. In: Balandin D, Barkalov K, Meyerov I, editors. Mathematical Modeling and Supercomputer Technologies. MMST 2022. Communications in Computer and Information Science. Switzerland: Springer Nature; 2022;(1750):227–238. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24145-1_19

14. Gromkovskii AI, Gromkovskii AA, Gromkovskaia NA. Economic and mathematical model of the profit of sugar production from beets. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;(5):052005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/5/052005>

15. Krstić M, Agnusdei GP, Tadić S, Miglietta PP. Prioritization of e-traceability drivers in the agri-food supply chains. Agricultural and Food Economics. 2023;11:42. <https://doi.org/10.1186/s40100-023-00284-5>

16. Rao M, Bast A, de Boer A. Understanding the phenomenon of food waste valorisation from the perspective of supply chain actors engaged in it. Agricultural and Food Economics 2023;11:40. <https://doi.org/10.1186/s40100-023-00279-2>

17. Cristobal-Fransi E, Daries N, Cardona JR, Del Río-Rama M de La C. Challenges of digitization in the social economy in times of pandemic: The evolution of online presence and e-commerce in agri-food cooperatives. Agricultural and Food Economics. 2023;11:49. <https://doi.org/10.1186/s40100-023-00291-6>

18. Trentinaglia MT, Baldi L, Peri M. Supporting agriculture in developing countries: New insights on the impact of official development assistance using a climate perspective. Agricultural and Food Economics. 2023;11:39. <https://doi.org/10.1186/s40100-023-00282-7>

19. Громковский А. И., Громковский А. А., Громковская Н. А. Техничко-экономический анализ свеклосахарного производства. Сахар. 2017. № 7. С. 20–23. [Gromkovskii AI, Gromkovskii AA, Gromkovskaia NA. Technical and economic analysis of sugar beet production. Sugar. 2017;(7):20–23. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ZBIVHH>

20. Contini C, Boncinelli F, Piracci G, Scozzafava G, Casini L. Can blockchain technology strengthen consumer preferences for credence attributes? Agricultural and Food Economics. 2023;11:27. <https://doi.org/10.1186/s40100-023-00270-x>

21. Матвейкин В. Г., Дворецкий С. И., Минько Л. В., Таров В. П., Чайников Л. Н. и др. Инновационный потенциал: современное состояние и перспективы развития. М.: Машиностроение-1; 2019. 284 с. [Matveikin VG, Dvoretzky SI, Minko LV, Tarov VP, Chaynikov LN, *et al.* Innovative potential: Current state and development prospects. Moscow: Mashinostroyeniye-1; 2019. 284 p. (In Russ.)]
22. Winter E, Grovermann C, Messmer MM, Aurbacher J. Assessing seed and breeding interventions for organic farming using a multiagent value chain approach. *Agricultural and Food Economics*. 2023;11:22. <https://doi.org/10.1186/s40100-023-00262-x>
23. Кочетков С. В., Кочеткова О. В. Инновационный потенциал промышленных предприятий: определение и динамика развития. Россия: тенденции и перспективы развития. 2017. № 12–2. С. 34–38. [Kochetkov SV, Kochetkova OV. Innovative potential of industrial enterprises: Definition and dynamics of development. Russia: Trends and development prospects. 2017;(12–2):34–38. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ZOCBLL>
24. Мингалева Ж. А., Платынюк И. И. Оценка уровня инновационного развития предприятия. Креативная экономика. 2011. № 4. С. 52–58. [Mingaleva ZhA, Platynyuk II. Assessment of enterprise innovative development level. *Creative Economy*. 2011;(4):52–58. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/NDUVBL>
25. Лисин Б., Фридлянов В. Инновационный потенциал как фактор развития. Инновации. 2002. № 7. С. 17–34. [Lisin B, Fridlyanov V. Innovative potential as a development factor. *Innovations*. 2002;(7):17–34. (In Russ.)]
26. Oñederra-Aramendi A, Begiristain-Zubillaga M, Cuellar-Padilla M. Characterization of food governance for alternative and sustainable food systems: A systematic review. *Agricultural and Food Economics*. 2023;11:18. <https://doi.org/10.1186/s40100-023-00258-7>
27. Amanful B, Dogbe ES, Bosman CA, Gorgens JF. Stochastic techno-economic analysis for the co-production of alternative sweeteners in sugarcane biorefineries. *Food and Bioproducts Processing*. 2024;143:9–20. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.10.006>
28. Картаев Ф. С. Введение в эконометрику. М.: Проспект; 2020. 472 с. [Kartaev FS. Introduction to Econometrics. Moscow: Prospect; 2020. 472 p. (In Russ.)]
29. Усачева И. В. Методический подход к развитию инновационного потенциала промышленных предприятий. Организатор производства. 2021. № 3. С. 67–74. [Usatcheva IV. A methodic approach to industrial enterprises' innovation potential development. *Organizer of Production*. 2021;(3):67–74. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PDEJKN>
30. Page S. The model thinker: What you need to know to make data work for you. NY: Basic Books; 2018. 427 p.
31. Hamel BT, Harman M. Can government investment in food pantries decrease food insecurity? *Food Policy*. 2023; 121:10–25. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102541>
32. Krasnoff SM, Schmit TM, Bilinski CB. Economic impact assessment of public incentives to support farm-to-school food purchases. *Food Policy*. 2023;121:25–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102545>
33. Максимова Е. Сладкий доход. Сахарная свекла вернула статус одной из самых рентабельных агрокультур. Агроинвестор. 2023. № 2. [Maksimova E. Sweet income. Sugar beet has regained its status as one of the most profitable agricultural crops. *Agroinvestor*. 2023;(2). [cited 2024 Jan 25] (In Russ.)] Available from: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/39732-sladkiy-dokhod-sakharnaya-svekla-vernula-status-odnoy-iz-samykh-rentabelnykh-agrokultur/>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2563>
<https://elibrary.ru/ANAWAN>

Original article
Available online at <https://fptt.ru/en>

Anti-Metabolic Syndrome Effect of Trans-Cinnamic Acid



Darya Yu. Chekushkina^{1,*}, Anastasia M. Fedorova¹,
Svetlana V. Kovalenko¹, Irina S. Milentyeva¹,
Olga G. Altshuler¹, Larisa M. Aksenova²

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

² All-Russian Scientific Research Institute of Confectionery Industry, Moscow, Russia

Received: 23.12.2024

Revised: 29.01.2025

Accepted: 04.02.2025

*Darya Yu. Chekushkina: chekushkina02@mail.ru,

<https://orcid.org/0009-0002-3826-8048>

Anastasia M. Fedorova: <https://orcid.org/0000-0002-8071-4411>

Svetlana V. Kovalenko: <https://orcid.org/0009-0006-2889-4458>

Irina S. Milentyeva: <https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

Olga G. Altshuler: <https://orcid.org/0000-0001-7035-673X>

© D.Yu. Chekushkina, A.M. Fedorova, S.V. Kovalenko, I.S. Milentyeva,
O.G. Altshuler, L.M. Aksenova, 2025



Abstract.

The metabolic syndrome, also known as syndrome X or insulin resistance syndrome, is a global human health issue. It is associated with visceral obesity, insulin resistance, high blood pressure, hypoglycemia, hypocholesterolemia, and cardiovascular diseases. This article describes the anti-metabolic syndrome effect of several biologically active mixes that consisted of rutin, quercetin, and trans-cinnamic acid.

The experimental mixes differed in composition and ratio, with trans-cinnamic acid being the most abundant component. Mix 1 included rutin, quercetin, and trans-cinnamic acid (1:1:2), Mix 2 consisted of rutin and trans-cinnamic acid (1:3), Mix 3 was a combination of rutin, quercetin, and trans-cinnamic acid (4:1:15), Mix 4 consisted of quercetin and trans-cinnamic acid (3:1). The effective dose was 100.0 mg/kg for all samples. The hypocholesterolemic activity was studied on 48 male black C57Bl/6 mice with hypercholesterolemia induced by lipoprotein lipase inhibitor Poloxamer 407 (400.0 mg/kg). The hypoglycemic activity was determined *in vivo* on 42 white Wistar rats. Each rat was administered with an individual concentration of the experimental mix (effective doses: 100.0 mg/kg for the mixes, 5.0 mg/kg for glibenclamide, and 2 000.0 mg/kg for glucose). Blood was sampled from the tip of the tail to record the input data on glucose and total cholesterol.

The study revealed a reliable decrease ($p < 0.01$) in the area under curve for glucose concentration and time (Mix 3), which indicated hypoglycemic potential. All groups demonstrated a certain decrease in glucose, but it was statistically significant only in the animals that received Mix 3. All the mixes exhibited a reliable hypocholesterolemic effect. The tests on triglycerides and low-density lipoproteins revealed no statistically significant differences between the experimental groups. However, those treated with Mixes 2 and 3 demonstrated a trend towards lower triglycerides, and those that received Mixes 1 and 4 had a lower level of low-density lipoproteins.

Mixes 2 (rutin + trans-cinnamic acid, 1:3), 3 (rutin + quercetin + trans-cinnamic acid, 4:1:15), and 4 (quercetin + trans-cinnamic acid, 3:1) proved to be suitable for anti-metabolic syndrome bioactive additives.

Keywords. Trans-cinnamic acid, quercetin, rutin, metabolic syndrome, prevention, *in vivo*, mice

Funding. The research was part of State Assignment FZSR-2024-0008: Anti-aging biologically active additives with plant metabolites *in vitro*. The experiments were performed at the R&D Center for Instrumental Analysis in Applied Biotechnology, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia.

For citation: Chekushkina DYu, Fedorova AM, Kovalenko SV, Milentyeva IS, Altshuler OG, *et al.* Anti-Metabolic Syndrome Effect of Trans-Cinnamic Acid. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):136–147. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2563>

Потенциал транс-коричной кислоты для профилактики метаболического синдрома



Д. Ю. Чекушкина^{1,*}, А. М. Федорова¹, С. В. Коваленко¹,
И. С. Миленьева¹, О. Г. Альтшулер¹, Л. М. Аксенова²

¹ Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности^{ROR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 23.12.2024

Принята после рецензирования: 29.01.2025

Принята к публикации: 04.02.2025

*Д. Ю. Чекушкина: chekushkina02@mail.ru,

<https://orcid.org/0009-0002-3826-8048>

А. М. Федорова: <https://orcid.org/0000-0002-8071-4411>

С. В. Коваленко: <https://orcid.org/0009-0006-2889-4458>

И. С. Миленьева: <https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

О. Г. Альтшулер: <https://orcid.org/0000-0001-7035-673X>

© Д. Ю. Чекушкина, А. М. Федорова, С. В. Коваленко,
И. С. Миленьева, О. Г. Альтшулер, Л. М. Аксенова, 2025



Аннотация.

Метаболический синдром, также известный как синдром X или синдром резистентности к инсулину, является глобальной проблемой человечества, характеризующейся висцеральным ожирением, резистентностью к инсулину, высоким кровяным давлением, гипогликемией, гипохолестеринемией и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Цель данного исследования – изучить потенциал профилактики метаболического синдрома с помощью смесей биологически активных веществ, состоящих из рутина (RUT), кверцетина (KVC) и транс-коричной кислоты (TKR-k), в составе которых преобладает TKR-k.

Объектами исследований послужили смеси биологически активных веществ, включающие транс-коричную кислоту, рутин и кверцетин в различных соотношениях: смесь № 1 – RUT:KVC:TKR-k в соотношении 1:1:2, смесь № 2 – RUT:TKR-k в соотношении 1:3, смесь № 3 – RUT:KVC:TKR-k в соотношении 4:1:15, смесь № 4 – KVC:TKR-k в соотношении 3:1.

Определение гипохолестеринемической активности исследуемых растворов биологически активных веществ в эффективной дозе 100,0 мг/кг осуществлялось на модельных объектах (самцах черных мышей), у которых моделировали гиперхолестеринемию введением ингибитора липопротеинлипазы – полоксамера P407 в эффективной дозе 400,0 мг/кг.

Определение гипогликемической активности проводилось *in vivo*. За час до запланированного времени введения смесей модельным объектам проводилась предварительная подготовка, в процессе которой каждую крысу взвешивали и подбирали индивидуально необходимую концентрацию смесей в эффективной дозе 100,0 мг/кг, глибенкламида – 5,0 мг/кг и глюкозы – 2000,0 мг/кг. Затем производили забор крови из кончика хвоста для протоколирования входных данных об уровне глюкозы и общего холестерина.

По результатам исследования выявлено достоверное снижение площади под кривой «концентрация глюкозы – время» (смесь № 3) ($p < 0,01$), что свидетельствует о гипогликемической активности. Зафиксирована тенденция снижения глюкозы во всех экспериментальных группах, однако достоверно уровень глюкозы в данной модели был снижен только в смеси № 3. Установлено, что смеси № 1–4 обладают выраженным достоверным гипохолестеринемическим эффектом. При определении уровня триглицеридов и липопротеинов низкой плотности статистически значимых различий между группами обнаружено не было, однако наблюдались тренды снижения триглицеридов в смесях № 2 и 3 и липопротеинов низкой плотности (смеси № 1 и 4).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что целесообразнее использовать смеси № 2–4 как источники для создания биологически активных добавок, направленных на профилактику метаболического синдрома.

Ключевые слова. Транс-коричная кислота, кверцетин, рутин, метаболический синдром, профилактика, *in vivo*, мыши

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Разработка биологически активных добавок, состоящих из метаболитов растительных объектов *in vitro*, для защиты населения от преждевременного старения» (проект FZSR-2024-0008) с использованием оборудования ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» на базе КемГУ^{ROR}.

Для цитирования: Чекушкина Д. Ю., Федорова А. М., Коваленко С. В., Миленьева И. С., Альтшулер О. Г. и др. Потенциал транс-коричной кислоты для профилактики метаболического синдрома. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 136–147. (На англ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2563>

Introduction

Premature aging is a global issue that modern health-care seeks to prevent. All over the world, people strive to stay active and improve their life quality [1]. According to the Russian Monitoring of Economy and Health, consumers give priority to health and longevity. Yet, a serious health deterioration (20.2%) is registered in men aged 60–69 y.o. It reaches 35.6% in men aged 70–79 and 50.9% in 80-pusers. In women of the same age groups, the health deterioration data are 23.3, 39.4, and 60.7%, respectively [2]. As a result, the demand for dietary supplements is growing with each year [1].

The hallmarks of premature aging include early age-associated changes in appearance, memory impairment, fatigue and exhaustion, emotional instability, poor physical performance, and atherosclerosis [3].

Premature aging is strongly associated with the metabolic syndrome, which affects 25% global population and tends to increase with age [4].

The metabolic syndrome is a complex cluster of correlating metabolic disorders that increases the risk of cardiovascular diseases, type 2 diabetes, hypertension, and obesity [5]. The syndrome was first reported in the early 1920s but it was as late as in the 1980s that Gerald Reaven introduced the term Syndrome X to identify a group of risk factors that combined insulin resistance, impaired glucose tolerance, high triglycerides, low high-density lipoproteins, obesity, and arterial hypertension. A 2015 survey on obesity revealed that the number of obese people had doubled in 73 countries since 1980, resulting in the global epidemic of the metabolic syndrome [6]. Non-alcoholic fatty liver disease is another result of excessive fat and fructose in human diet.

The metabolic syndrome is mostly a human condition. The disruption of energy processing homeostasis has affected the vast majority of global population, and the numbers keep growing. Although the metabolic syndrome is no infectious disease, it represents a real epidemic threat to human health. Despite the diversity of pathological components and the damage depth, it affects predictable social strata, and its stages, i.e., onset, duration, complications, premature aging, and death, are quite well established [7].

The metabolic syndrome can be triggered at quite an early age by unfavorable living conditions, e.g., imbalanced diet, exposure to chemicals and some pharmaceutical products, etc. However, early preventive interventions may minimize the risks [8]. For instance, a balanced diet compensates for extreme conditions, providing macro- and micronutrients and bioactive compounds. Proper dieting is the most important factor: it reduces the risks of hypertension, hypoglycemia, hypocholesterolemia, disturbance in lipid metabolism, obesity, and inflammation, i.e., conditions that increase the risk of atherosclerosis, cardiovascular diseases, type 2 diabetes, etc. [4, 9]. A balanced diet requires functional foods that contain biologically active substances of plant

origin. A systematic use of dietary supplements regulates metabolic reactions and restores the organism at various levels [10, 11].

Quercetin is a bioactive plant substance present in many fruits, vegetables, and green tea. It possesses antioxidant and anti-inflammatory properties. Quercetin reduces the risk of cardiovascular disease by improving the vascular system, as well as reducing inflammation and oxidative stress [5, 6].

Rutin, also known as vitamin P, is a bioflavonoid present in citrus fruits, vegetables, berries, green tea, and buckwheat. Its antioxidant properties make it possible to use it as a geroprotector, i.e., an anti-aging agent. Rutin reduces inflammation, which is known to trigger many age-related diseases. Its anti-inflammatory effect promoted good health. In addition, rutin strengthens capillaries and blood vessels, improving their elasticity and blood circulation [5].

Trans-cinnamic acid is a natural organic compound that participates in the synthesis of various chemical and pharmaceutical preparations, e.g., dietary supplements. Its range of biological activity includes antioxidant, antibacterial, and other properties. In [12], we reported the biopotential of trans-cinnamic acid isolated from the extract of Baikal skullcap (*Scutellaria baicalensis*). It was tested for hypoglycemic, hypocholesterolemic, and hepatotoxic activities *in vitro* and proved safe for human consumption. Trans-cinnamic acid demonstrated no cytotoxicity and could be recommended as an effective component for new dietary additives.

In this research, we focused on the synergistic effect of rutin, quercetin, and trans-cinnamic acid as a potential mix to be used in dietary additives aimed at preventing the metabolic syndrome.

The research objective was to study the hypoglycemic and hypocholesterolemic potential *in vivo* of biologically active mixes with trans-cinnamic acid as the main component.

Study objects and methods

The research involved mixes of biologically active trans-cinnamic acid, rutin, and quercetin.

The administration dose in the *in vivo* experiments was 100 mg/kg. The compositions were as follows:

Mix 1: rutin + quercetin + trans-cinnamic acid (1:1:2);

Mix 2: rutin + trans-cinnamic acid (1:3);

Mix 3: rutin + quercetin + trans-cinnamic acid (4:1:15);

Mix 4: quercetin + trans-cinnamic acid (3:1).

Mixes 1 and 3 contained more trans-cinnamic acid since our previous study had confirmed its biopotential [12]. Mixes 2 and 4 made it possible to evaluate the anti-metabolic syndrome potential of either rutin or quercetin with trans-cinnamic acid [12].

The hypoglycemic experiment involved 42 healthy white male Wistar rats (250 ± 15 g). The hypocholesterolemic test featured 48 healthy black male C57Bl/6 mice

(25 ± 10 g). Unlike females, males have no estrous cycle that affects susceptibility to etiological factors. These model objects were found most suitable for provoking the necessary health conditions.

The animals were kept at the vivarium complex of the Sechenov University, Institute of Regenerative Medicine. The conditions were in line with State Standards GOST R 53434-2009 (December 02, 2009): Good Laboratory Practice; GOST 33216-2014 (July 01, 2016): Care and Use of Laboratory Rodents and Rabbits; GOST 33215-2014 (July 01, 2016): Care and Use of Laboratory Animals: Premises and Procedures; European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes (ETS N 123).

Hypoglycemic activity test. After a veterinary examination, the rats were quarantined for two weeks with access to food and water *ad libitum*. They were kept at 12:12 LD in isolated ventilated cages (VENT-BIO-2M, AWTech, Russia).

All the rats were deprived of food for 12 h before the administration, except for Group 1 animals (intact), which were not subjected to any medical intervention.

An hour before the administration, each rat was weighed to calculate the individual concentration of the experimental biologically active substances, sugar-reducing agent Glibenclamide (OZON Farmatsevtika, Russia, 5 mg/kg effective dose), and glucose (OAO Pharmstandard Leksredstva, Russia, 2 000 mg/kg effective dose). Each sample of individually measured substances was dissolved in 1 mL purified water [13, 14].

In line with SOP-IRM-LRV-110-01, each rat was given a serial number and labeled with carbol fuchsin (Fucorcin). Tail-tip blood samples revealed the input data on glucose and total cholesterol (SOP-IRM-LRV-112-01). To minimize pain and distress, the rats were sedated with sevoflurane by inhalation until depression of consciousness.

At the scheduled time points, Groups 2–6 were administered with the test substances via a gastric tube (Fig. 1a) in the numerical order as in Table 1. One hour later, the rats received an aqueous glucose solution via the same method. After that, glucose and total cholesterol were measured 30 min, 1, 1.5, 2, 4, and 6 h after the administration.

Glucose measurements involved a glucometer and Accu-Chek Performa test strips (Roche, Germany); the total cholesterol measurements involved an analyzer and EasyTouch test strips (Biopitik Technology, China). Microsamples of 50 µL were collected from the subcutaneous vein [15] for further validation using a ChemWell 2910 Biochemical and Enzyme Immunoassay Analyzer (Awareness Technology, USA). Plasma was obtained from whole blood by centrifugation at 2 000 g for 10 min and studied using a ChemWell 2910 Biochemical Analyzer with Glucose DDS and Cholesterol DDS reagents (DIAKON DS JSC, Russia).

In the end, the rats were euthanized with carbon dioxide in the EUTHANIZER Laboratory Animal Euthanasia Unit (AWTech, Russia) in line with SOP-IRM-LRV-109-01.

Hypocholesterolemic activity test. The black male C57Bl/6 mice underwent a veterinary examination and were quarantined for two weeks with access to food and water *ad libitum*. They were kept at 12:12 LD in isolated ventilated cages (VENT-BIO-2M, AWTech, Russia).

On experiment day 1, all the mice were assigned with a serial number (Table 2) and labeled with carbol fuchsin (Fucorcin) in line with SOP-IRM-LRV-110-01. After that, Groups 2–6 were weighed to calculate the individual concentration of the mixes (100 mg/kg effective dose) and lipoprotein lipase inhibitor Poloxamer 407 (400 mg/kg effective dose) (Fig. 1b). Each individual sample was dissolved in 1 mL purified water; Poloxamer 407 was dissolved in 1 mL physiological solution.

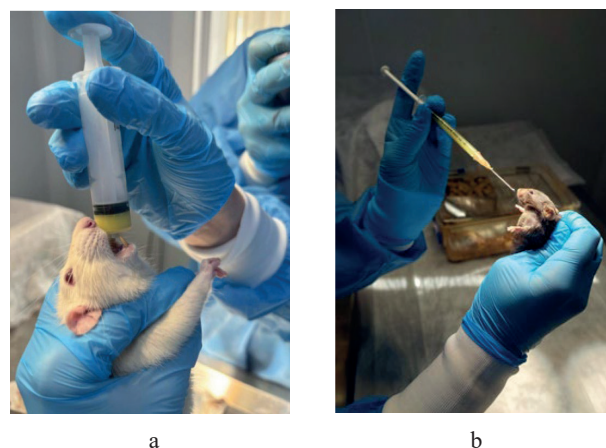


Figure 1. Oral administration of test mixes via a gastric tube to Wistar rats (a) and C57Bl/6 mice (b)

Рисунок 1. Пероральное введение испытуемых смесей через зонд крысам линии Wistar (a); мышам линии C57Bl/6 (b)

Table 1. Hypoglycemic activity test on rats

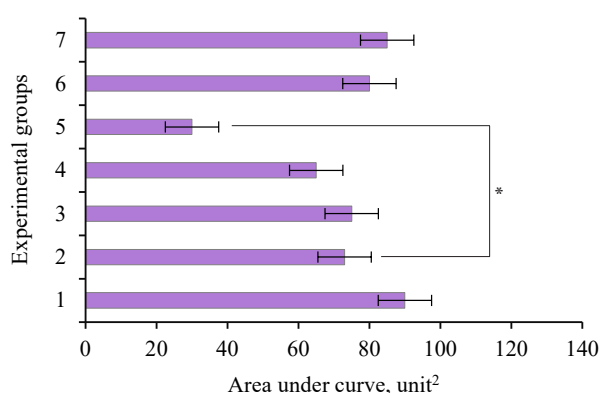
Таблица 1. Дизайн исследования гипогликемической активности на крысах

Group №	Animals per group	Substance, dose
1	6	–
2	6	Purified water
3	6	Mix 1 (rutin + quercetin + trans-cinnamic acid, 1:1:2), 100 mg/kg
4	6	Mix 2 (rutin + trans-cinnamic acid, 1:3), 100 mg/kg
5	6	Mix 3 (rutin + quercetin + trans-cinnamic acid, 4:1:15), 100 mg/kg
6	6	Mix 4 (quercetin + trans-cinnamic acid, 3:1), 100 mg/kg
7	6	Glibenclamide, 5 mg/kg

Table 2. Hypocholesterolemic activity test on mice

Таблица 2. Дизайн исследования гипохолестеринемической активности испытуемых веществ

Group №	Animals per group	Substance, dose
1	8	–
2	8	Purified water
3	8	Mix 1 (rutin + quercetin + trans-cinnamic acid, 1:1:2), 100 mg/kg
4	8	Mix 2 (rutin + trans-cinnamic acid, 1:3), 100 mg/kg
5	8	Mix 3 (rutin + quercetin + trans-cinnamic acid, 4:1:15), 100 mg/kg
6	8	Mix 4 (quercetin + trans-cinnamic acid, 3:1), 100 mg/kg

Figure 2. Area under curve for all groups of rats (* – $p < 0.01$)Рисунок 2. График расчёта площади под кривой для всех групп крыс (* – при $p < 0,01$)

To simulate hypercholesterolemia, Groups 2–6 were injected intraperitoneally with 0.2 mL Poloxamer 407 solution (400 mg/kg effective) three times a week (Monday, Wednesday, Friday) for two weeks [16]. Group 1 consisted of intact animals that received no experimental treatment.

After the last administration, the mice were anesthetized with 12 mg/kg ZOLETIL 100 (VIRBAC, France) and 1 mg/kg Xyla (Interchemie, Netherlands) to take blood samples from the carotid artery into sterile test tubes. The glucose measurements were performed *in situ* using a glucometer and Accu-Chek Performa test strips (Roche, Germany). Plasma was obtained by centrifuging the samples at 2 000 g for 10 min and studied using a ChemWell 2910 Biochemical and Enzyme Immunoassay Analyzer (Awareness Technology, USA) with reagents for triglycerides, low-density lipoproteins, and cholesterol (AO DIAKON DS, Russia).

Statistical analysis. The data obtained underwent a statistical analysis using GraphPad Prism 8 (GraphPad Software, USA). The hypoglycemic and hypocholeste-

rolemic effects were calculated with Area Under Curve. Significant differences between the test groups and the control were identified using the One-way ANOVA test followed by Dunnett's *post hoc* test ($p < 0.05$).

Results and discussion

The hypoglycemic test on rats followed the above-mentioned scheme. A single glucose loading revealed a reliable decrease in the area under the glucose concentration – time curve (Fig. 2) in Group 5 (Mix 3) ($p < 0.01$). This result indicated hypoglycemic activity.

Groups 6 (Mix 4) and 7 (gibenclamide) demonstrated a paradoxical increase in glucose levels, which could not be explained in this study and requires further research. The other groups showed no significant differences from the control.

Figure 3 illustrates individual glucose concentration – time graphs for each group.

Figure 3a shows the physiological fluctuations in glucose in the intact group. The average glucose level was 14 mmol/L at the beginning of the day, reached 24 mmol/L by the middle of the day, and gradually went down, with a minor physiological peak of 16 mmol/L in the evening.

Figure 3b shows the physiological change in glucose in the control group after the glucose loading preceded by fasting. The initial average glucose level was 9.5 mmol/L. After that, it rose to 20 mmol/L 30 min after the glucose loading and decreased steadily through all time points.

The experimental groups demonstrated a similar pattern, but the glucose increase after the glucose load was much lower.

Figure 3c illustrates the glucose fluctuations after the rats in Group 3 received Mix 1 and a glucose load preceded by fasting: the initial average glucose level of 8.2 mmol/L rose to 14.8 mmol/L after 30 min and reached 16.25 mmol/L after 1.5 h. There, it fluctuated until the time point of 2 h and then dropped down to 6.3 mmol/L in the evening.

Figure 3d shows the glucose measurements in Group 4 (Mix 2 + glucose load after fasting). The initial average glucose level was 7 mmol/L. After 30 min, it reached 14.5 mmol/L and fluctuate in this range up to the time point of 1.5 h only to drop down to 7 mmol/L in the evening.

Figure 3e demonstrates the glucose fluctuations in Group 5 (Mix 3 + glucose load after fasting). This group was different in that the glucose level remained practically the same (6–8 mmol/L) through all time points.

Figure 3f shows the average glucose level in Group 6 (Mix 4 + glucose load after fasting). The initial average glucose level was 8 mmol/L; it rose to 15 mmol/L 30 min after the glucose load, after which it decreased steadily through all time points.

Figure 3g shows glucose fluctuations in Group 7 after the rats were administered with gibenclamide and

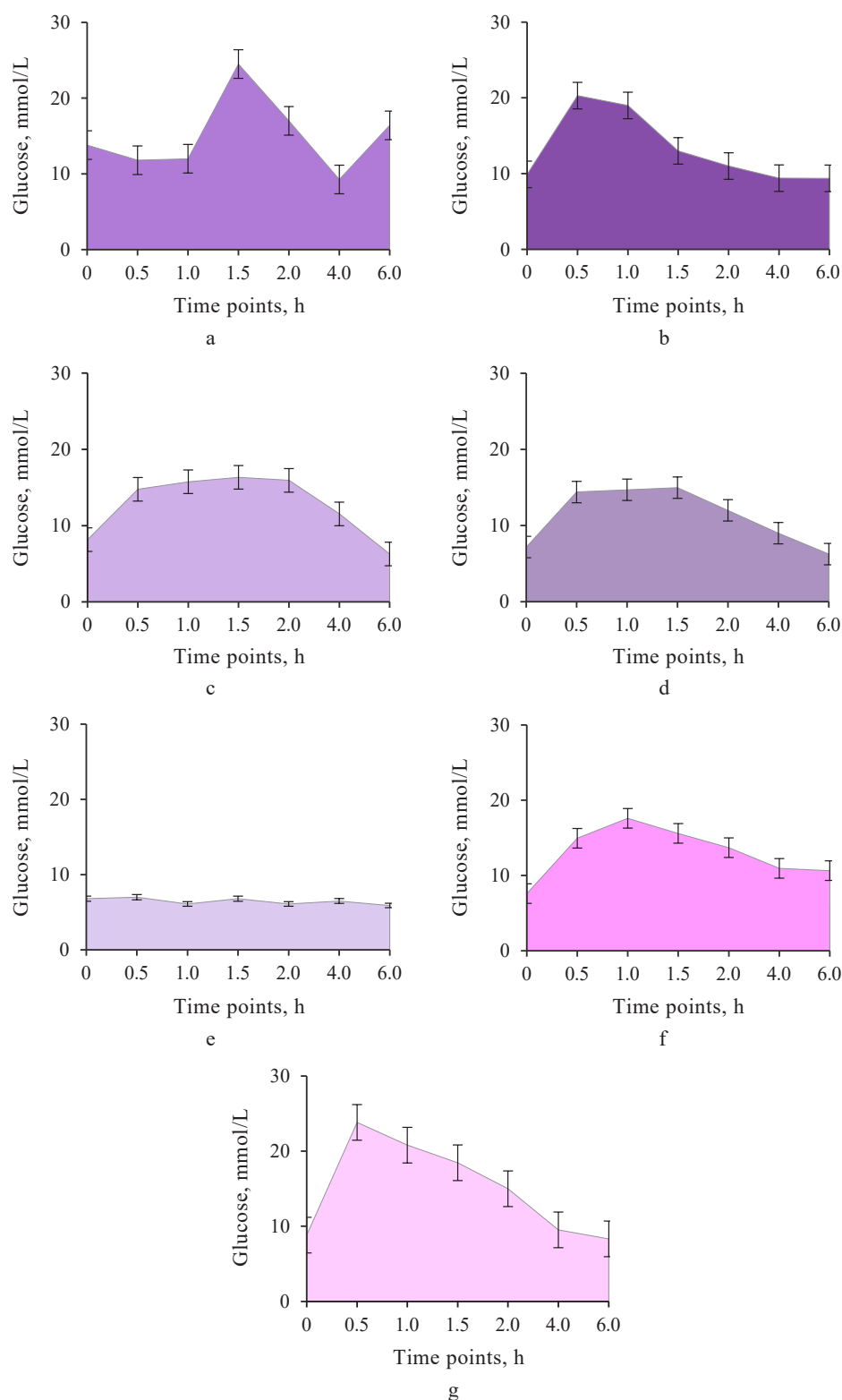


Figure 3. Glucose concentration – time curve for each group of rats: a – Group 1 (intact); b – Group 2 (purified water); c – Group 3, Mix 1 (rutin + quercetin + trans-cinnamic acid, 1:1:2); d – Group 4, Mix 2 (rutin + trans-cinnamic acid, 1:3); e – Group 5, Mix 3 (rutin + quercetin + trans-cinnamic acid, 4:1:15); f – Group 6, Mix 4 (quercetin + trans-cinnamic acid, 3:1); g – Group 7 (glibenclamide)

Рисунок 3. Графики «Концентрация глюкозы – время» для всех исследуемых групп: а – группа № 1 (без введения веществ); б – группа № 2 (вода очищенная); в – группа № 3, смесь № 1 (рутин + кверцетин + транс-коричная кислота, 1:1:2); д – группа № 4, смесь № 2 (рутин + транс-коричная кислота, 1:3); е – группа № 5, смесь № 3 (рутин + кверцетин + транс-коричная кислота, 4:1:15); ф – группа № 6, смесь № 4 (кверцетин + транс-коричная кислота, 3:1); г – группа № 7 (глибенкламид)

received a glucose load preceded by fasting. The initial average glucose level was 9 mmol/L; it reached 24 mmol/L 30 min after the glucose load and then decreased steadily through all time points.

The glucose test (Fig. 2) proved that Mix 4 was capable of reducing the glucose levels.

Figure 4 illustrates the total cholesterol level – time correlation for each group.

Figure 4a shows the physiological fluctuations in total cholesterol in the intact group. The initial average cholesterol of 4.0 mmol/L dropped down to 3.4 mmol/L after 30 min. At the time point of 1.5 h, it rose to 4.5 mmol/L; by the evening, it went down to 3.5 mmol/L.

The control group revealed a physiological change in total cholesterol after the glucose load preceded by fasting (Fig. 4b). The initial average cholesterol was 5.8 mmol/L, but 1 h after the glucose load, it dropped to 3.2 mmol/L. Then, it started rising and reached 3.8 mmol/L by the time point of 4 h. After that, it demonstrated a stable decrease and dropped down to 3.0 mmol/L at the time point of 6 h.

Figure 4c shows the total cholesterol in Group 3, where the mice received Mix 1 and a glucose load preceded by fasting. The fluctuations detected stayed within the limits of single values. The average total cholesterol was 5.6 mmol/L during the day and 5.46 mmol/L in the evening.

Figure 4d demonstrates the average total cholesterol in Group 4 (Mix 2 + glucose load after fasting). The fluctuations remained within the limits of single values. The average total cholesterol was 5.2 mmol/L early in the day and dropped down to 4.4 mmol/L in the evening.

Figure 4e illustrates the total cholesterol in Group 5 (Mix 3 + glucose load after fasting). The fluctuations stayed within the limits of single values. The average total cholesterol was 4.8 mmol/L early in the day and increased steadily to 4.9 mmol/L.

Figure 4f demonstrates the fluctuations in total cholesterol in Group 6 (Mix 4 + glucose load after fasting). The initial average total cholesterol was 5.4 mmol/L; 30 min after the load, it peaked at 5.8 mmol/L. Two hours after the glucose load, it decreased slightly to 5.3 mmol/L and then increased steadily to reach 5.7 mmol/L by the evening.

Figure 4g describes the total cholesterol in the mice from Group 7 that received glibenclamide after the glucose load preceded by fasting. Early in the day, it was 4.6 mmol/L, then peaked up to 5.2 mmol/L at the time point of 30 min. By the evening, it gradually decreased to 4.23 mmol/L.

In general, Figure 4 shows quite clearly that the mixes of biologically active substances had virtually no effect on total cholesterol.

Hypocholesterolemic activity of biologically active mixes. Cholesterol is a vital component that participates in digestion and other processes. It is mostly synthesized in the liver from fats, glucose, and amino acids, but

some part enters the body with food. High cholesterol may lead to stroke or myocardial infarction, depending on the area affected [17]. High cholesterol is a major risk factor associated with low life expectancy. Therefore, medications aimed at curbing this component of the metabolic syndrome require serious research.

The analysis of the hypocholesterolemic activity of the biologically active mixes followed the protocol described above.

Table 3 shows the survival rate for each group of animals. All glucose measurements were performed from 9 a.m. to 9 p.m. If an animal died at night, rigor mortis made glucose measurements impossible. The mice were randomly selected to perform one-time spontaneous glucose measurements and test the hypothesis that the biologically active mixes could reduce the glucose level until lethargy, apathy, etc.

Figure 5 shows the average glucose level in the hypercholesterolemia model induced by Poloxamer 407 after the experimental mixes were administered at a concentration of 100.0 mg/kg. The glucose level (Fig. 5) increased in the control group relative to the intact group, which is consistent with other reports [18]. All the experimental groups had lower glucose than the control, which means that all the mixes had a potential hypoglycemic effect. However, the decrease was statistically significant ($p < 0.01$) only in Group 5, where the animals received Mix 3. The data obtained confirmed the results of the hypoglycemic test on rats.

Figure 6 illustrates the average total cholesterol across all groups of mice administered with experimental mixes at a concentration of 100.0 mg/kg. The total cholesterol test (Fig. 6) revealed that the mice developed hypercholesterolemia upon receiving 400 mg/kg Poloxamer 407. In the intact group, the cholesterol level was below the control values ($p < 0.05$). The low cholesterol in Groups 3 (Mix 1), 4 (Mix 2), 5 (Mix 3), and 6 (Mix 4) relative to the control (Group 2) indicated a pronounced hypocholesterolemic activity of the corresponding biologically active mixes. No significant differences were detected between the groups ($p = 0.0983$).

Figure 7 shows the average triglyceride values for all the groups of mice that received the experimental solutions at a concentration of 100.0 mg/kg.

The triglyceride test (Fig. 7) revealed no statistically significant differences between the groups after the treatment with poloxamer P407 and the experimental mixes. However, the control group demonstrated a trend to increase relative to the intact group whereas the experimental groups had lower total triglyceride, especially in Groups 4 (Mix 2) and 5 (Mix 3), which complemented the results described above.

Figure 8 shows the average low-density lipoprotein across the groups of mice that received the experimental substance mixes at a concentration of 100.0 mg/kg.

The low-density lipoprotein test in the hypercholesterolemia model (Fig. 8) revealed no statistically sig-

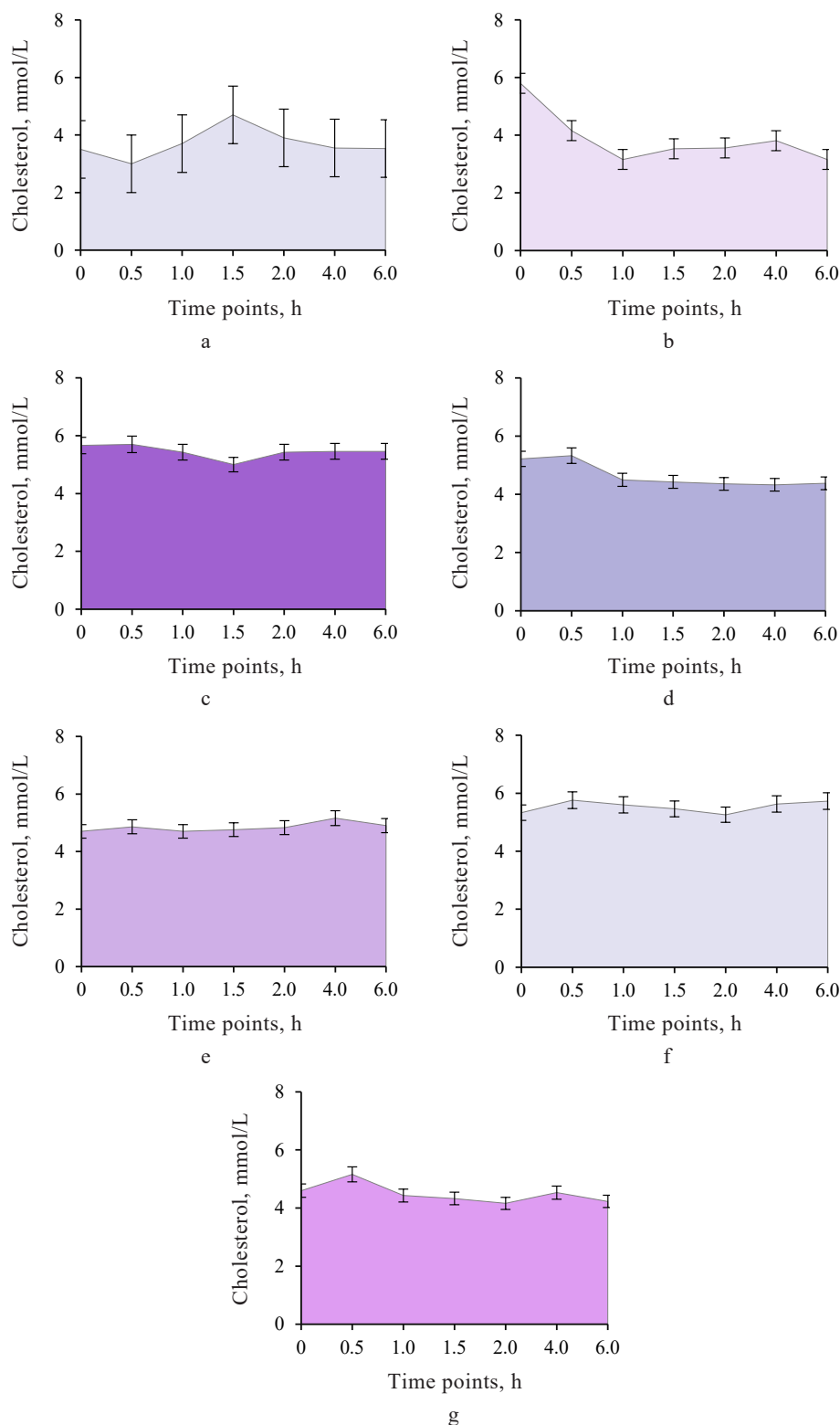


Figure 4. Cholesterol – time curve for each group of mice: a – Group 1 (intact); b – Group 2 (purified water); c – Group 3, Mix 1 (rutin + quercetin + trans-cinnamic acid, 1:1:2); d – Group 4, Mix 2 (rutin + trans-cinnamic acid, 1:3); e – Group 5, Mix 3 (rutin + quercetin + trans-cinnamic acid, 4:1:15); f – Group 6, Mix 4 (quercetin + trans-cinnamic acid, 3:1); g – Group 7 (glibenclamide)

Рисунок 4. Графики «Уровень холестерина – время»: а – группа № 1 (без введения веществ); б – группа № 2 (вода очищенная); с – группа № 3, смесь № 1 (рутин + кверцетин + транс-коричная кислота, 1:1:2); д – группа № 4, смесь № 2 (рутин + транс-коричная кислота, 1:3); е – группа № 5, смесь № 3 (рутин + кверцетин + транс-коричная кислота, 4:1:15); ф – группа № 6, смесь № 4 (кверцетин + транс-коричная кислота, 3:1); г – группа № 7 (глибенкламид)

Table 3. Survival rate and causes of death in each group of mice (eight mice per group)

Таблица 3. Данные о выживаемости и причинах смерти в каждой из экспериментальных групп мышей (всего в группе восемь животных)

Group №	Survived	Died
1	8	—
2	8	—
3	5	1 (aspiration pneumonia); 2 (Day 11, Day 14, 2 h before exclusion; cause undetected; severe lethargy and apathy the day before)
4	4	4 (aspiration pneumonia)
5	7	1 (Day 7, at night)
6	8	—

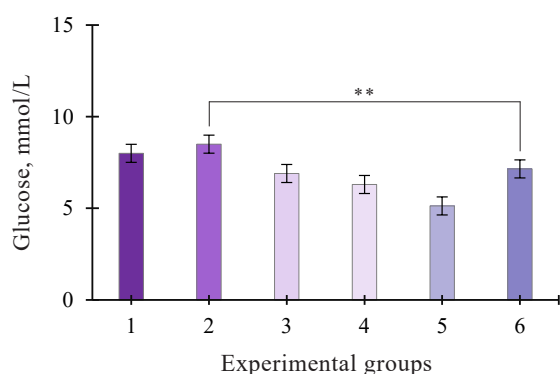
Figure 5. Glucose concentration across groups after the experiment (** – $p < 0.01$; mean values $\pm$ standard deviation)

Рисунок 5. График значений концентрации глюкозы во всех группах после окончания эксперимента (** – при $p < 0,01$; отражены средние значения $\pm$ стандартное отклонение)

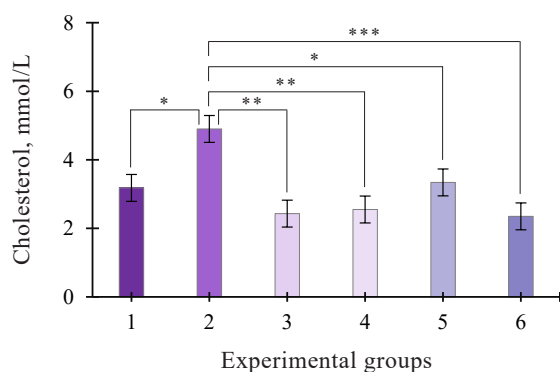
Figure 6. Total cholesterol across groups after the experiment (* – $p < 0.1$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$; mean values $\pm$ standard deviation)

Рисунок 6. График значений уровня общего холестерина во всех группах после окончания эксперимента (* – при $p < 0,1$; ** – при $p < 0,01$; *** – при $p < 0,001$; отражены средние значения $\pm$ стандартное отклонение)

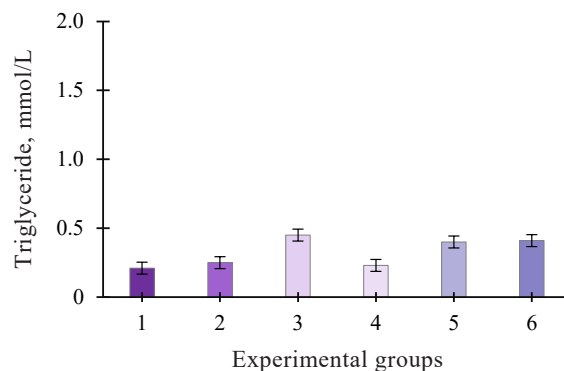
Figure 7. Triglyceride across groups after the experiment (mean values $\pm$ standard deviation)

Рисунок 7. График значений уровня ТГД во всех группах после окончания эксперимента (отражены средние значения $\pm$ стандартное отклонение)

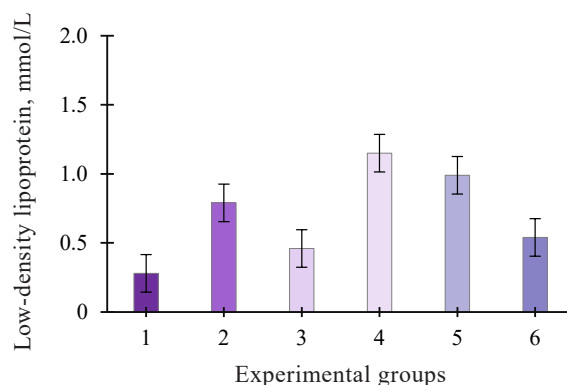
Figure 8. Low-density lipoprotein across groups after the experiment (mean values $\pm$ standard deviation)

Рисунок 8. График значений уровня ЛПНП во всех группах после окончания эксперимента (отражены средние значения $\pm$ стандартное отклонение)

nificant differences between the groups. However, the abovementioned trends persevered: the control group had a higher low-density lipoprotein level than the intact group. The results indicated the effect of Poloxamer 407 on the overall lipid profile. However, only Groups 4 (Mix 2) and 6 (Mix 4) demonstrated a trend towards a lower low-density lipoprotein level.

The *in vivo* study on rodents proved that Mix 3 was the most effective glucose reducer, regardless of the model object, for both hypoglycemia and hypocholesterolemia. The hypocholesterolemia model revealed no mix that could reduce all four indicators, i.e., glucose, total cholesterol, low-density lipoprotein, and triglycerides. Yet, Mix 3 proved able to reduce at least three indicators, i.e., glucose, total cholesterol, and triglycerides. Mix 1 reduced total cholesterol and low-density lipoprotein; Mixes 2 and 4 reduced total cholesterol and triglycerides.

Mix 1 (rutin + quercetin + trans-cinnamic acid, 1:1:2) could reduce cholesterol and low-density lipoprotein.

The hypocholesterolemic activity test took the lives of three animals: one died from aspiration pneumonia, the other two died from unspecified cause, with severe lethargy and apathy the day before death.

Mix 2 (rutin + trans-cinnamic acid, 1:3) reduced cholesterol and triglycerides, with four animals dead from aspiration pneumonia.

Mix 3 (rutin + quercetin + trans-cinnamic acid, 4:1:15) was able to reduce glucose, cholesterol, and triglycerides, with one animal dead (cause unidentified).

Mix 4 (quercetin + trans-cinnamic acid, 3:1) increased glucose levels while reducing cholesterol and low-density lipoprotein.

Based on the *in vivo* bioactivity, Mixes 1, 3, and 4 proved relevant for further component analysis to reveal the lethal dose and the causes of death.

We already reported the hypoglycemic and hypocholesterolemic activities of trans-cinnamic acid in [12, 19]. The study *in vivo* involved female Sprague Dawley rats (*Rattus* sp.), male Wistar rats (*Rattus* sp.), male mice (*Mus musculus*), and CD-1 female mice (*Mus musculus*). Trans-cinnamic acid exhibited a proinflammatory effect in acute inflammation induced by λ -carrageenan. It reduced the mass of granulation tissue by 20% in a statistically significant manner but did not affect the exudative reaction in proliferative inflammation caused by cotton swabs implanted under the skin. However, when administered into the stomach of rats with alloxan-induced diabetes at 50.0 and 100.0 mg/kg for 7 days, trans-cinnamic acid had no effect on body weight and demonstrated no hypocholesterolemic activity.

Other authors reported that trans-cinnamic acid isolated from Baikal skullcap (*Scutellaria baicalensis*) facilitated the survival of nematodes (*Caenorhabditis elegans*) subjected to oxidative stress, which indicates its geroprotective potential [20, 21].

Another publication [22] mentions the mechanisms of action of trans-cinnamic acid against non-alcoholic fatty liver disease in rats *in vivo*. Forty-eight rats were split into two groups: one spent a week on a normal diet and the other spent a week on a diet high in fat and fructose. The latter were divided into control groups that received trans-cinnamic acid and pioglitazone. The rats on the fat-and-fructose diet gained more weight than the rats in the trans-cinnamic acid group. Their body weight went down with the trans-cinnamic acid treatment. The rats that received trans-cinnamic acid had lower platelet counts. The trans-cinnamic acid treatment reduced the body weight, fat mass, and lipids in obese rats, as well as liver markers and anti-inflammatory cytokine TNF- α . Trans-cinnamic acid with its ability to reduce inflammation via TNF- α makes proved effective against non-alcoholic fatty liver disease. Another *in vivo* study [23] showed that receptors and gene expression could reduce both inflammation of adipose tissue and metabolic dysfunction.

Shah *et al.* [24] described a mix of nicotinamide and trans-cinnamic acid that stimulated the survival of pan-

creatic β -cells in combination with insulin secretion via the ERK1/2 signaling pathway in an animal apoptosis model. The Wistar rats received daily injections of nicotinamide and trans-cinnamic acid for three days, followed by streptozotocin. On Day 3, the scientists detected an acute effect on blood glucose and serum insulin, and as survival potential against streptozotocin-induced apoptosis, in all experimental groups.

Yazdi *et al.* [25] reported a decrease in DPP4 expression in both normal and high-glucose HepG2 cells treated with cinnamic acid. In hyperglycemic cells, the highest activity belonged to 50 mg/mL trans-cinnamic acid.

The neuroendocrine function of visceral fat triggers the development of insulin resistance, oxidative stress endothelial dysfunction, and vascular disorders as parts of the metabolic syndrome. In [26], described the effect of a phytoadaptogen complex on the endocrine and immune systems with a change in the content and synthesis of biologically active substances, i.e., hormones, cytokines, and neurotransmitters. In addition, the complex reduced the low-intensity chronic inflammation in the metabolic syndrome, thus correcting microcirculation disorders due to stable antioxidant, stress-limiting, and anti-inflammatory effects.

Patients with the metabolic syndrome may be genetically predisposed to obesity and exhibit proinflammatory responses. Adipose tissue secretes countless autoimmune components (adipokines) into the circulation, including tumor necrosis factor- α (TNF- α), leptin, adiponectin, resistin, monocyte chemoattractant protein-1, adipocyte-type fatty acid binding protein, etc. The metabolic syndrome is closely associated with oxidative stress and inflammation, with increased TNF- α expression in adipose tissue being associated with obesity-induced insulin resistance [27].

Conclusions

The hypoglycemic tests revealed a trend towards a decrease in glucose across all experimental groups, which indicates a potential hypoglycemic effect of all the biologically active mixes. However, the only statistically significant decrease was observed in the group treated with Mix 3, which consisted of rutin, quercetin, and trans-cinnamic acid (4:1:15). Mix 2 (rutin + trans-cinnamic acid, 1:3) and Mix 4 (quercetin + trans-cinnamic acid, 3:1) demonstrated a trend towards lower low-density lipoprotein.

Since trans-cinnamic acid had no hypocholesterolemic effect in previous studies, Mixes 2, 3, and 4 could be potential sources for new dietary supplements against the metabolic syndrome.

Contribution

D.Yu. Chekushkina was responsible for data curation, project administration, validation, visualization, original draft, and proofreading. I.S. Milentyeva developed the research concept, supervised the project,

and proofread the draft. A.M. Fedorova provided verification and editing. S.V. Kovalenko processed the data and wrote the original draft. O.G. Altshuler designed the methodology and proofread the manuscript. L.M. Aksenova provided verification and editing.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest regarding the publication of this article.

Критерии авторства

Д. Ю. Чекушкина – курирование данных, администрирование проекта, проверка достоверности, визу-

ализация, написание оригинального черновика, рецензирование и редактирование. И. С. Милентьева – разработка концепции, администрирование проекта, рецензирование и редактирование. А. М. Федорова – проверка, рецензирование и редактирование. С. В. Коваленко – обработка данных, написание первоначального варианта. О. Г. Альтшулер – методология, рецензирование и редактирование. Л. М. Аксенова – проверка, рецензирование и редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Spivak IM, Slizhov PA, Pleskach NM, Nyrov VA, Panferov EV, *et al.* Geroprotectors against accelerated and natural aging. Health – The Base of Human Potential: Problems and Ways to Solve Them: Proceedings XIII Annual All-Russian Research and practical Conf. with Intern. Participation, 2018;13(1):133–143. (In Russ.)
2. Lemieux I, Després J-P. Metabolic Syndrome: Past, present and future. *Nutrients*. 2020;12(11):3501. <https://doi.org/10.3390/nu12113501>
3. Pristrom MS, Shtonda MV, Semenkov II. A look at the problem of premature aging: Approaches to prevention. *General Medicine: Journal of Scientific and Practical Therapy*. 2021;(1):5–24. (In Russ.) <https://elibrary.ru/MSIOAR>
4. García-García FJ, Monistrol-Mula A, Cardellach F, Garrabou G. Nutrition, bioenergetics, and metabolic syndrome. *Nutrients*. 2020;12(9):2785. <https://doi.org/10.3390/nu12092785>
5. Vesnina AD, Milentyeva IS, Le VM, Fedorova AM, Altshuler OG, *et al.* Quercetin isolated from *Hedysarum neglectum* Ledeb. as a preventer of metabolic diseases. *Foods and Raw Materials*. 2025;13(1):192–201. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-1-633>
6. Vesnina A, Milentyeva I, Minina V, Kozlova O, Asyakina L. Evaluation of the *in vivo* anti-atherosclerotic activity of quercetin isolated from the hairy roots of *Hedysarum neglectum* Ledeb. *Life*. 2023;13(8):1706. <https://doi.org/10.3390/life13081706>
7. Kim J-E, Kim J-S, Jo M-J, Cho E, Ahn S-Y, *et al.* The Roles and associated mechanisms of adipokines in development of metabolic syndrome. *Molecules*. 2022;27(2):334. <https://doi.org/10.3390/molecules27020334>
8. Alemany M. The Metabolic syndrome, a human disease. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(4):2251. <https://doi.org/10.3390/ijms25042251>
9. Vesnina A, Prosekov A, Atuchin V, Minina V, Ponasenko A. Tackling atherosclerosis via selected nutrition. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(15):8233. <https://doi.org/10.3390/ijms23158233>
10. Hsu C-N, Hou C-Y, Hsu W-H, Tain Y-L. Early-life origins of metabolic syndrome: Mechanisms and preventive aspects. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(21):11872. <https://doi.org/10.3390/ijms222111872>
11. Aslanova MA, Vasilevskaya ER, Kotenkova EA, Chernukha IM, Fedulova LV, *et al.* Scientific approaches to the selection of biologically active substances of animal and plant origin for metabolic syndrome correction. *Meat Industry*. 2020; (12):18–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.37861/2618-8252-2020-11-18-21>
12. Chekushkina DYU, Milentyeva IS, Le VM, Prosekov AYU, Proskuryakova LA. The biopotential of trans-cinnamic acid. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2024;12(2):87–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/food240210>
13. Pharmacopoeia.rf. Art.1.2.3.0019.15: Spectrophotometry in sugar studies. Ministry of Health of the Russian Federation. Available from: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-2-3-0019-15-opredelenie-saharov-spektrofotometricheskim-metodom/>
14. Mah PT, Laaksonen T, Rades T, Aaltonen J, Peltonen L, *et al.* Unravelling the relationship between degree of disorder and the dissolution behavior of milled glibenclamide. *Molecular Pharmaceutics*. 2014;11(1):234–242. <https://doi.org/10.1021/mp4004145>
15. Caron A, Lelong C, Bartels T, Dorchie O, Gury T, *et al.* Clinical and anatomic pathology effects of serial blood sampling in rat toxicology studies, using conventional or microsampling methods. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2015;72(3):429–439. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.05.022>
16. Lee U, Kwon MH, Kang HE. Pharmacokinetic alterations in poloxamer 407-induced hyperlipidemic rats. *Xenobiotica*. 2019;49(5):611–625. <https://doi.org/10.1080/00498254.2018.1466212>

17. Expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults. Executive Summary of The Third Report of The National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, And Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III). JAMA. 2001;285(19):2486–97. <https://doi.org/10.1001/jama.285.19.2486>
18. Johnston TP, Edwards G, Koulou P. Synergism of mechanisms underlying early-stage changes in retina function in male hyperglycemic *db/db* mice in the absence and presence of chemically-induced dyslipidemia. Scientific Reports. 2023; 13:17347. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44446-3>
19. Fedorova AM, Dyshlyuk LS, Milentyeva IS, Loseva AI, Neverova OA, *et al.* Geroprotective activity of trans-cinnamic acid isolated from the Baikal skullcap (*Scutellaria baicalensis*). Food Processing: Techniques and Technology. 2022; 52(3):582–591. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2388>
20. Faskhutdinova ER, Dmitrieva AI, Milentyeva IS. Effect of trans-cinnamic acid on oxidative stress resistance in *Caenorhabditis elegans*. Innovative development of agro-industrial, chemical, and forestry complexes and sustainable nature management. 2022. pp. 147–150. (In Russ.)
21. Milentyeva IS, Fedorova AM, Larichev TA, Altshuler OG. Biologically active compounds in *Scutellaria baicalensis* L. callus extract: Phytochemical analysis and isolation. Foods and Raw Materials. 2023;11(1):172–186. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-564>
22. Solanki N, Patel R. Unraveling the mechanisms of trans-cinnamic acid in ameliorating non-alcoholic fatty liver disease. American Journal of Translational Research. 2023;15(9):5747–5756.
23. Bishehsari F, Voigt RM, Keshavarzian A. Circadian rhythms and the gut microbiota: From the metabolic syndrome to cancer. Nature Reviews Endocrinology. 2020;16:731–739. <https://doi.org/10.1038/s41574-020-00427-4>
24. Shah SAR, Khan MI, Jawaid H, Qureshi U, Ul-Haq Z, *et al.* Nicotinamide-cinnamic acid cocktail exerts pancreatic β -cells survival coupled with insulin secretion through ERK1/2 signaling pathway in an animal model of apoptosis. DARU Journal of Pharmaceutical Sciences. 2021;29:483–492. <https://doi.org/10.1007/s40199-021-00412-w>
25. Yazdi M, Nafari A, Azadpour M, Alaei M, Hadipour Moradi F, *et al.* Protective effects of cinnamic acid against hyperglycemia induced oxidative stress and inflammation in HepG2 cells. Reports of Biochemistry and Molecular Biology. 2023;12(1):1–12. <https://doi.org/10.52547/rbmb.12.1.1>
26. Dzampaeva ZhV, Datieva FS, Takoeva EA, Nartikoeva MI. Correction of chronic systemic low-intensity inflammation in metabolic syndrome with complex phytoadaptogens. Journal of New Medical Technologies. 2022;(6):101–107. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2075-4094-2022-6-3-7>
27. Alshehri FF. Understanding the prevalence, progression, and management of metabolic syndrome in Saudi Arabia. Saudi Medical Journal. 2023;44(10):973–986. <https://doi.org/10.15537/smj.2023.44.10.20230450>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2562>
<https://elibrary.ru/GNPDMO>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Теоретико-методологическое обоснование моделирования процессов инновационного развития общественного питания



Ш. Урудж¹, А. А. Дриль², Л. А. Маюрникова^{3,*}

¹ Университет принцессы Нуры Бинта Абдулрахмана, Эр-Рияд, Саудовская Аравия

² Новосибирский государственный технический университет^{ROR}, Новосибирск, Россия

³ Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 31.07.2024

Принята после рецензирования: 09.09.2024

Принята к публикации: 01.10.2024

*Л. А. Маюрникова: nir30@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-4592-8382>

Ш. Урудж: <https://orcid.org/0000-0002-1477-8759>

А. А. Дриль: <https://orcid.org/0000-0002-4114-4006>

© Ш. Урудж, А. А. Дриль, Л. А. Маюрникова, 2025



Аннотация.

Любые переходные процессы сопряжены с разработкой новой парадигмы, поэтому актуален пересмотр основных положений понятийного аппарата и терминологических систем, используемых на новых уровнях развития науки и техники, частных областей знаний, в том числе отраслевых. Общественное питание является значимой отраслью для реализации стратегий продовольственной безопасности страны. Как следствие, в этой сфере приоритетно инновационное развитие, переходный период которого должен быть обеспечен теоретико-методологической базой. Цель исследования – обобщить и систематизировать терминологическую базу и понятийный аппарат для последующего теоретико-методологического обоснования процесса моделирования инновационного развития сферы общественного питания.

Объектами исследования послужили понятийный аппарат и терминологическая система, отражающие существующее положение дел в теории и практике отрасли общественного питания с учетом смежных отраслей, положенных в основу разработки процесса моделирования инновационного развития. Поиск информации по теме исследования проводили по литературным источникам за 2019–2024 гг. через СПС Гарант, поисковую систему научных публикаций Google Scholar и научную электронную библиотеку eLIBRARY.RU.

Общественное питание – часть малого предпринимательства, разнообразие направлений которого осложняет унификацию процессов развития. Предложена трехуровневая методология инновационного развития предприятий, включающая теоретический, эмпирический и технологический уровни. К первому уровню отнесли принципы, подходы и понятийный аппарат. Ко второму – методы, методики и механизмы. Третий описывает факторы: особенности и условия, логическую и временную (переходную) структуры деятельности предприятий. Дано подробное описание элементов методологии.

Приведена теоретико-методологическая база для обоснования моделирования процесса инновационного развития предприятий общественного питания. Предложенная методология является методическим обеспечением переходного этапа развития предприятий от классического подхода управления к инновационному, инварианты которого применимы в частных случаях.

Ключевые слова. Общественное питание, переходный период, новая парадигма, понятийный аппарат, инновационное развитие, терминологическая система, отраслевые особенности, методология, структура

Для цитирования: Урудж Ш., Дриль А. А., Маюрникова Л. А. Теоретико-методологическое обоснование моделирования процессов инновационного развития общественного питания. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 148–165. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2562>

Innovative Modeling in Public Catering: Theory and Methods



Shabana Urooj¹, Anastasiia A. Dril²,
Larisa A. Mayurnikova^{3,*}

¹ Princess Nourah Bint Abdulrahman University, Riyadh, Saudi Arabia

² Novosibirsk State Technical University^{ROR}, Novosibirsk, Russia

³ Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: 31.07.2024
Revised: 09.09.2024
Accepted: 01.10.2024

*Larisa A. Mayurnikova: nir30@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-4592-8382>
Shabana Urooj: <https://orcid.org/0000-0002-1477-8759>
Anastasiia A. Dril: <https://orcid.org/0000-0002-4114-4006>

© S. Urooj, A.A. Dril, L.A. Mayurnikova, 2025



Abstract.

Transition processes need a new paradigm. At each new stage of development, an industry has to reconsider its basic concepts and terms. Public catering is important from the national food safety perspectives, which makes innovative development a priority. To complete a paradigm shift, it requires new theoretical and methodological foundations. The article generalizes and structures new terms and concepts needed for a theoretical and methodological rationalization of modeling the innovative development in the public catering sector.

The research featured concepts and terms that reflect the current theory and practice of public catering and adjacent spheres related to innovative development and its modeling. The review covered scientific articles and legal documents indexed in the Garant, Google Scholar, and eLIBRARY.RU databases in 2019–2024.

Public catering represents a wide variety of small businesses, which complicates any attempts at unifying the development processes. The authors designed a three-level methodology for innovative development with a comprehensive and detailed description. The methodology includes theoretical, empirical, and technological levels, i.e., from principles, approaches, and concepts through methods, techniques, and tools to specifics, conditions, logic, and temporal structure.

The article provides the theory and methodology needed to rationalize the modeling of innovative development in the sphere of public catering. The methodology supports the shift from classical to innovative management, with invariants that could be applied to individual cases.

Keywords. Public catering, transition period, new paradigm, concepts, innovative development, terminological system, industry, methodology, structure

For citation: Urooj S, Dril AA, Mayurnikova LA. Innovative Modeling in Public Catering: Theory and Methods. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):148–165. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2562>

Введение

Процесс развития общества характеризуется переходными периодами с кардинально новыми стратегическими целями и задачами, реализация которых требует разработки новой парадигмы. Эта тема широко обсуждается в научном сообществе за рубежом и в России.

Понятие парадигмы стали активно использовать в науке с 1960-х гг. после публикации монографии Томаса Самуэля Куна «Структура научных революций». При этом данное понятие не было раскрыто достаточно подробно, что затрудняло понимание мыслей автора в отношении научного развития и научной революции. В переводе с греческого термин означает пример или образец и является достаточно узким. Более широкое современное значение парадигмы приближено к таким

терминам, как дисциплинарная матрица и структура. Объединяя два значения, можно дать следующее определение парадигме, применяемое в современной методологии научного исследования – конкретное теоретическое направление, основанное на определенных знаниях в конкретных областях исследования и исследовательской методологии, отражающее состояние научного сообщества в определенный промежуток времени. В современной науке парадигма воспринимается как особый способ организации научного знания, определяющий то или иное видение мира. Таким образом, смена парадигмы воспринимается научным и другими сообществами как научная революция.

Парадигмы классифицируются по ряду признаков и могут распространяться как на науку в целом (т. е.

быть общепринятыми), так и на отдельные отрасли научного знания. Так как развитие различных областей науки и в настоящее время идет неравномерно, то и переход от одной парадигмы к другой изначально целесообразно рассматривать внутри каждой области наук индивидуально. Важно понимать, что области науки всегда находятся во взаимодействии друг с другом. При переходе на новую научную парадигму следует учитывать данные связи, способные оказывать то или иное влияние на дальнейшее развитие парадигмы. Однако эффект может быть и обратным – парадигма, на которую осуществлен переход в одной области науки, и может оказывать влияние на другие ее области [1–3].

В соответствии с инновационным характером развития современной науки, среди различных видов парадигм представляет интерес инновационная. Несмотря на переход России на инновационную парадигму как в науке, так и в производстве, данная концепция не является достаточно проработанной и постоянно совершенствуется [4]. Вместе с тем отмечается важность активного сотрудничества между отраслями, что в итоге может привести к их совокупному развитию и переходу на новый уровень.

Данная концепция, основой которой являются комплексное и системное развитие науки и производства, отражена в положениях Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (до 2035 г.). Она является межотраслевой и предполагает совместное развитие сфер науки, технологии и инноваций в России в долгосрочном периоде [5]. Целью научно-технологического развития РФ является обеспечение независимости и конкурентоспособности страны за счет создания эффективной системы наращивания и наиболее полного использования интеллектуального потенциала нации. Это вызывает необходимость разработки новой парадигмы образования. В настоящее время наблюдается разрыв между теоретическими знаниями, получаемыми обучающимися в научно-образовательных учреждениях, и практическими, приобретаемыми в профессиональной деятельности [6, 7]. Поэтому разработка эффективной образовательной модели, в основе которой лежит научно-инновационная деятельность, является актуальной задачей. Барьеры, возникающие в процессе решения данной проблемы [8], не препятствуют наличию положительных результатов наработок на разных стадиях в Бразилии, Омане, Казахстане, Хорватии и Португалии [9–13].

Для создания и внедрения новых технологий важно формирование эффективной системы коммуникации в областях науки, технологий и инноваций, которая имела бы вид «наука и образование – производство – рынок» [14, 15].

Особенностью экономических теорий и концепций является то, что они могут быть максимально достоверными лишь на определенный период времени. Так, в конце XX – начале XXI в. в экономике

России начали возникать новые проблемы и вызовы во множестве отраслей предпринимательской деятельности, для решения которых было недостаточно применять уже известные, ранее действенные методы. Следовательно, идеологическая и концептуальная модернизация гуманитарных, естественно-научных, в том числе технических, наук потребовала разработки новой парадигмы предпринимательства. Наряду с этим, требовалось более детальное исследование предпринимательской деятельности множества субъектов с учетом разнообразных факторов, начиная от технической и технологической составляющих отраслей, их мощностей, количества персонала и заканчивая их географическим положением, внутренним, межотраслевым взаимодействием и прочими факторами [16].

Опыт зарубежных экономически развитых стран основан на разработке и последующем практическом применении различных методологий, которые делают акцент на особенностях структурирования деятельности малого предпринимательства и описывают их механизмы функционирования, включая внутренние и внешние факторы. При разработке теоретико-методологических подходов предпринимательской деятельности в конкретной отрасли характерная ей неоднородность требует исследования особенностей предпринимательства и оценки его перспектив развития.

Для решения обозначенных проблем рационально задействовать теории человеческого и интеллектуального капитала, принимая во внимание особенности отраслей и временной период. Теории человеческого капитала посвящены труды ряда известных ученых-экономистов периода XVII–XX вв. Проведенные американским экономистом Теодором Шульцем синтез и анализ существовавших теоретических знаний позволили ему разработать и внедрить макроэкономический подход к управлению человеческим капиталом. Если ранее считалось, что расходы на обучение и здоровье относились исключительно к потребительским расходам, то при данном подходе они относились к инвестициям в развитие как отдельного человека, так и общества. В дальнейшем данные знания получили продолжение в концепции интеллектуального капитала, активное развитие которой началось в 2000-х гг. [17].

В России такие термины, как человеческий капитал и человеческий потенциал, были впервые представлены в Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г., утвержденной Президентом РФ в 2008 г. Согласно данной концепции, развитие человеческого капитала в стране осуществлялось через образование, здравоохранение, деятельность пенсионных фондов и программы обеспечения населения жильем.

Интеллектуальный капитал по-разному трактуется в научно-технической литературе областей знаний и отраслей, что определяет его специфику. Учитывая перспективы инновационного развития, интеллекту-

альный капитал рассматривается как совокупность опыта специалистов и множества нематериальных активов, основу которых составляет интеллектуальная собственность. При этом наличие интеллектуального капитала направлено на повышение эффективности работы, а следовательно, на повышение доходов и прибыли в различных отраслях российской экономики [18]. Интеллектуальный капитал также является частью человеческого капитала.

Анализ этих терминов позволяет выявить существенную роль для сферы питания в их формировании и реализации.

Концепция модернизации на теоретическом уровне предполагает смену парадигмы развития общества и деление исторического процесса на доиндустриальный и индустриальный этапы, включающие стадии постиндустриального развития. Отрасль общественного питания относится к сфере услуг и, согласно модели этапов развития общества, предполагает увеличение доли своего вклада в экономику. Поэтому

представляет интерес выявление особенностей постиндустриального периода, включая отличительные признаки.

Для формирования базовых признаков постиндустриального общества с целью дальнейшего их учета при разработке элементов новой парадигмы развития общественного питания проведены анализ и систематизация характеристик постиндустриального общества (табл. 1).

Осмысление особенностей этапов развития общества показывает, что постиндустриальное общество характеризуется следующими чертами:

- на смену экономики, основанной на производстве товаров (технологии), приходит экономика услуг;
- число занятых в сфере услуг превалирует над количеством, занятым в материальном производстве;
- приоритет отдается наукоемким производствам и ресурсосберегающим технологиям;
- повышаются требования к качеству продукции и услуг;
- возрастает роль научного знания;

Таблица 1. Особенности этапов развития общества для учета при формировании новой парадигмы развития отраслей

Table 1. Stages of social development to consider when forming a new paradigm for industrial development

Отличительные признаки	Стадии общественного развития		
	Доиндустриальное общество	Индустриальное общество	Постиндустриальное общество
Ключевая сфера	сельское хозяйство	промышленность	сфера услуг (прежде всего наука и образование)
Основные факторы производства	трудовые и природные ресурсы	трудовые ресурсы и капитал	трудовые ресурсы (знания), капитал и технологии (информация)
Тип производства	ручной труд	механизированный	автоматизированный, цифровой
Характер труда	индивидуальный	фабричное производство	творческое начало
Основной продукт производства	пища	технологии	услуги
Занятость населения	сельское хозяйство – 75 %	сельское хозяйство – 35 %, промышленность – 50 %, услуги – 15 %	сельское хозяйство – 3 %, промышленность – 33 %, услуги – 64 %
Доминирующий источник экономического развития	природные ресурсы	производительность трудовых ресурсов, эффективность капитала	высокотехнологичные ресурсы
Основы развития	традиция	научно-технический прогресс, предпринимательство, конкуренция	знания и информация, творчество, компетенция и профессионализм
Воздействие на природу	неконтролируемое, местное (взаимодействие человека с нетронутой природой)	контролируемое (взаимодействие человека с освоенной природой)	контролируемое глобальное (взаимодействие человека с человеком в отрыве от природы)
Основной фактор человеческого развития	повышение навыков	формирование способностей	развитие способностей на основе творчества, в том числе научно-технического, самообразование в течение всей жизни
Базовые профессии	фермер, ремесленник, рабочий	рабочий, инженер	ученые и специалисты
Влияние образования на производство	передача эмпирического опыта и навыков	передача научных знаний	оснащение методологией разных видов деятельности

- актуальными становятся интеграция науки и производства, создание комплексных научно-производственных объединений;
- востребован новый тип работника – высококвалифицированный специалист (специалист нового поколения);
- развивается индустрия, связанная с благосостоянием населения. Приоритет вложения финансовых средств в развитие образования, здравоохранения, сферы услуг.

Обобщение особенностей постиндустриального этапа развития общества свидетельствует о том, что индустрия питания как часть сферы услуг требует пересмотра парадигмы развития с учетом обозначенных характеристик [18].

По мнению многих исследователей, проблемой анализа существующих парадигм является отсутствие к настоящему моменту единой терминологии в области методологии научных исследований. Это в итоге может привести к различиям в объяснении научных процессов. Единство терминологии особенно важно в настоящее время, которое можно отнести к периоду научной революции, а следовательно, и к адекватной оценке смены парадигмы и ее роли в научно-техническом прогрессе [19].

Современные энциклопедические определения методологии в РФ отражены в Российском и Философском энциклопедических словарях. При этом если в Российском энциклопедическом словаре ключевым словом является учение, то в Философском словаре – система, а учение – вторично. Обобщение предложенных терминологий позволяет трактовать методологию как учение об организации любой человеческой деятельности (научной, практической) [20].

Проведение теоретических и прикладных научных исследований, независимо от направлений и областей знаний, требует качественного изложения материалов, выводов и заключений. Они могут иметь строго научный характер, понятный научным сотрудникам и специалистам, или научно-популярный, предназначенный для широкого круга читателей. При этом важно соблюдать точное использование существующих терминов в их общепринятом смысле и понятно объяснять новые термины, вводимые исследователем в научный обиход в граничных условиях исследуемой проблемы. В этой связи актуально рассмотрение вопросов формирования понятийного аппарата в сфере, имеющей важное значение на современном этапе развития общества, – сфере питания.

Объекты и методы исследования

Начало теоретических исследований нового направления (ранее неизвестного или малоизученного), как правило, характеризуется выявлением и освещением новых факторов. При разработке теоретико-методологических основ развития объекта / системы, принимая во внимание выявленные факторы, целесо-

образно рассмотреть существующий понятийный аппарат и терминологическую систему с целью их уточнения, обновления для эффективного построения будущего плана действия. Резкий переход отрасли общественного питания в конце 1990-х гг. от плановой экономики к рыночной не способствовал формированию теоретических основ, а в большей степени явился причиной практической адаптации к сложившимся условиям рынка. Перспективы же дальнейшего развития требуют проведения теоретических исследований и применения результатов для моделирования процессов стратегического управления, в частности в условиях инновационного развития.

Объектом исследования послужили понятийный аппарат и терминологическая система, отражающие существующее положение дел в теории и практике научной и производственной деятельности отрасли общественного питания, и их совершенствование с учетом условий инновационного развития.

Поиск информации осуществляли по ключевым словам согласно теме исследования в литературных источниках через СПС Гарант, поисковую систему научных публикаций Google Scholar и научную электронную библиотеку eLIBRARY.RU. Были рассмотрены публикации за последние 5 лет (2019–2024 гг.). Более ранние работы изучали для лучшего понимания темы исследования и в отдельных случаях ввиду отсутствия новой информации. Анализировали энциклопедии и справочники, фиксирующие термины и определения в разных областях научного знания, словари профессиональных терминов и определений. Анализ литературы выявил большое количество публикаций, в которых инновация и инновационное развитие рассматривались как экономическая категория. Значительно меньше публикаций, авторы которых рассматривали инновации с точки зрения техники и технологии. При этом термин «инновация» является емким и многогранным. Общественное питание – отрасль, включающая совокупность производства продукции, ее реализацию и обслуживание. Каждое из направлений, с одной стороны, может быть самостоятельным для разработки новшества (инновации), с другой – приоритетным остается разработка новой пищевой продукции. Это объясняет технико-технологический взгляд на продуктовые инновации в общественном питании и предполагает их рассмотрение на всех стадиях научно-инновационной деятельности. Сущность же инновации как экономической категории в большей степени связана с получением экономической эффективности от внедрения.

Результаты и их обсуждение

Понятийный аппарат и терминологическая система – взаимосвязанные понятия, используемые в науке, технике и других областях знаний. Понятийный аппарат – совокупность определенных понятий, теорий, концепций и методов, используемых в определен-

ной области знаний. Он представляет собой основу для систематизации знаний, а также позволяет различать и классифицировать изучаемые объекты. В пищевых технологиях понятийный аппарат включает такие понятия, как концепция, технология, услуга питания, организация производства и т. д. Терминологическая система – это множество терминов, используемых для обозначения различных понятий в определенной области знаний. Обычно она основана на конкретных правилах и соглашениях и позволяет исключить неоднозначность и двусмысленность при общении. Например, терминологическая система включает термины: сырье, переработка, полуфабрикат, режимы, упаковка и т. д. Отличие между понятийным аппаратом и терминологической системой заключается в том, что первое обозначает совокупность определенных понятий и методов, в то время как второе представляет собой совокупность терминов, используемых для обозначения этих понятий. Понятийный аппарат является более широким и глобальным понятием, в то время как терминологическая система сфокусирована более узко и ориентирована на точность и ясность обозначения.

Опыт исследовательской работы авторов позволяет выявлять проблемы с использованием терминов и определений, их трактовкой в отдельных конкретных случаях в процессе работы с научно-технической литературой. Таким образом, установлено, что у этих проблем есть объективные причины, например транс-

формация понятия конкретного термина на разных этапах развития общества. Анализ литературы позволил проследить эволюцию термина «инновация» в хронологическом порядке столетнего периода (табл. 2).

Трактовка терминов может варьироваться в разных областях знаний. Не исключены ситуации, когда один и тот же термин используется для обозначения разных понятий, или, наоборот, разные термины используются для обозначения одного и того же понятия. Это затрудняет понимание текста для читателей, не знакомых с терминологией данной области знаний.

В некоторых случаях авторы могут использовать термин не в соответствии с его истинным значением, что также может привести к недопониманию и ошибкам в восприятии текста. Наиболее очевидное решение проблем с использованием терминов – это пояснение терминологии [21, 22].

Техническая терминология – это терминология отрасли техники, которая связана с отдельными отраслями производства и промышленности. В некоторых случаях она отличается от общенаучной и общетехнической терминологии. Внутри общетехнической терминологии может быть узкоотраслевая система терминологий. Понимание области технологии производства продукции общественного питания, с одной стороны, как самостоятельной отрасли общественного питания, с другой – как смежной и близкой по технологическим процессам с технологиями производства пищевых продуктов. Отраслевые терминологические

Таблица 2. Термин «инновация» с точки зрения различных авторов в хронологическом порядке

Table 2. *Innovation*: definition timeline from various perspectives

Автор	Определение
Шумпетер Й., австрийский и американский экономист, политолог, социолог. Теория экономического развития (1930-е гг.)	Новая научно-организационная комбинация производственных факторов, мотивированная предпринимательским духом
Твисс Б., американский экономист (1980-е гг.)	Процесс, при котором изобретение или новая идея приобретает экономическое содержание
Никсон Ф., английский ученый (1990-е гг.)	Совокупность технических, производственных и коммерческих мероприятий, приводящих к появлению на рынке новых и улучшенных промышленных процессов и оборудования
Медынский В. Г., Ильдеменов С. В., российские ученые (1990-е гг.)	Объект, внедренный в производство в результате проведенного научного исследования, существенно отличающийся от прежних аналогов
Санто Б., венгерский экономист. Инновация как средство экономического развития (1990 г.)	Общественно-экономический процесс, который через практическое использование идей и изобретений приводит к созданию лучших по своим свойствам изделий и технологий
Федеральный закон «О государственной поддержке инновационной деятельности в Российской Федерации» (1996 г.)	Введение в употребление какого-либо нового или значительно улучшенного продукта (товар или услуга) или процесса, нового метода маркетинга или нового организационного метода в деловой практике, в организации рабочих мест и внешних связей
Фатхутдинов Р. А., российский ученый. Инновационный менеджмент (2000-е гг.)	Конечный результат внедрения новшества с целью изменения объекта управления и получения экономического, социального, научно-технического или другого вида эффекта
Новоселов С. В., Маюрникова Л. А., российские ученые. Теоретическая инноватика: научно-инновационная деятельность и управление инновациями (2017 г.)	Инновация – конечный результат творческого труда, получивший реализацию в виде новой или усовершенствованной продукции либо нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в экономическом обороте (инновация – нововведение)

системы в процессе научно-технического развития могут изменяться и дополняться.

При рассмотрении важности исследований в этом направлении необходимо отметить приоритетность отраслей, которые относятся к малому предпринимательству. В России малое предпринимательство зародилось в конце XX в. и еще проходит этап становления, поэтому актуальным является формирование теоретико-методологической базы для его развития.

В 2016 г. принята Стратегия развития малого и среднего предпринимательства (МиСП) в РФ на период до 2030 г. На конец 2020 г. занятость в секторе малого и среднего предпринимательства составляла 18,2 млн человек, а к 2030 г. их численность должна возрасти до 25 млн человек [23].

Уже на начальном этапе развития МиСП возникли вопросы, требующие разрешения. Так, ряд исследователей, в частности Й. Шумпетер, разводят понятия предпринимательства и бизнеса, понимая под бизнесом любую хозяйственную деятельность, а под предпринимательством – только деятельность инновационную.

Согласно исследованию М. К. Поповой, инновационная деятельность в форме предпринимательства является такой формой бизнеса, основой которого в первую очередь является творчество. Именно творческий подход применяется в инновационном предпринимательстве при поисковой деятельности в отношении новых инвестиций, разработке и совершенствовании выпускаемой продукции, расширении сети предприятий, повышении уровня деятельности, выявлении и эффективном использовании существующих и новых инструментов для увеличения доходов и чистой прибыли [24].

Таким образом, в настоящий момент учебная и специализированная литературы выделяют классическую и инновационную предпринимательские модели.

Классическую модель предпринимательства можно описать такими характеристиками, как традиционная и репродуктивная. При этом методе управления цель деятельности предприятия – максимальная отдача имеющихся ресурсов. Концепция управления ростом производства за счет использования такой отдачи сформировалась именно из классической модели.

Вторую модель предпринимательства называют инновационным или продуктивным предпринимательством. При этом в данной модели также используется концепция управления ростом производства, однако основанная не на отдаче, а на инновациях.

Инновационное предпринимательство – это новаторский процесс создания новшеств с последующим переходом к инновациям. В этом случае предпринимательство организует работу по разработке и практической реализации проектов, в том числе инновационных, или улучшению существующих, принимая риски и возлагая на себя ответственность.

Инновационное предпринимательство – это высшая стадия предпринимательской деятельности, направ-

ленная на выявление новых возможностей для собственного бизнеса и, как следствие, приводящая к созданию более конкурентоспособных по своим свойствам товаров (технологий, услуг) путем практического применения нововведений [24].

Начало нового этапа развития общественного питания в России можно отнести к 2000-м гг. Это период выхода продукции на зарубежные рынки, что напрямую связано с коренным преобразованием в терминоведении отрасли.

Специфика общественного питания и активное применение в деятельности предприятий отрасли зарубежного опыта сформировали два подхода к созданию терминологической базы и ее применению: стандартизированный и нестандартизированный. Стандартизированные термины изложены в действующих нормативных документах: ГОСТы, ТР ТС, СанПиН и т. п., имеющих непосредственное отношение к отрасли общественного питания. К стандартизированным терминам и определениям можно отнести термины смежных отраслей и направлений, таких как пищевая промышленность, торговля, туризм, экономика, и изложенные в официальной литературе (словари, энциклопедии, учебники и т. п.). Однако опыт авторов показывает, что в ряде случаев требуется уточнение общепринятого термина в одной области знаний применительно к другой – в данном случае к отрасли общественного питания. Это связано с несовершенством теоретико-методологической базы отрасли и необходимостью ее развития.

Нестандартизированные термины, применяемые в организации производства и обслуживания предприятий общественного питания, особенно коммерческого сектора (рестораны, кафе, бары), как правило, заимствованы из терминологической базы зарубежных отраслей индустрии питания западных стран (Америка, Франция, Италия) и Азии (Китай, Япония и др.).

Коренные изменения в различных направлениях социально-экономического развития произошли в конце XX – начале XXI в., что связано с вхождением России в ВТО и, как следствие, формированием более тесных торговых отношений со многими зарубежными странами. Это способствовало проникновению зарубежных терминов во многие сферы деятельности человека. Так, в этот период наблюдалось активное развитие туризма, что вызвало необходимость разработки отраслевых научно-справочных определений терминов по проблематике в сфере туризма [25].

Так как услуги общественного питания занимают значимое место в современной индустрии туризма и гостеприимства, возникает необходимость пересмотра и уточнения терминологической системы сферы питания. Известно, что знания в области технологии продукции общественного питания базируются на стыке естественных и технических наук, и изменения и достижения в области данных научных направлений оказывают прямое влияние как на саму технологию,

так и на деятельность предприятий, организующих производство продукции общественного питания. Вследствие этого заслуживает внимания синтез и систематизация знаний в данной области, а также разработка и внедрение единой терминологии.

Помимо этого, целесообразным является изучить закономерности в социально-культурном, нормативно-правовом и экономическом аспектах деятельности сферы общественного питания, а также влияние отрасли на жизнь отдельного человека (потребителя) и общества в целом. Поэтому принцип формирования данных отраслевых терминологий можно назвать принципом объединения на основе обобщения и систематизации.

Связь общественного питания с другими отраслями народного хозяйства РФ:

- производственная сфера: сельское хозяйство (сырье); машиностроение (пищевое оборудование); транспорт (транспортировка); финансы и кредит (финансовая поддержка предприятий отрасли); торговля (закуп сырья и материально-техническое снабжение предприятий); здравоохранение (специальные виды питания); образование (организация питания в системе образования, обучение населения принципам здорового питания, профориентация и подготовка кадров); наука (научные исследования в области теории и практики развития отрасли общественного питания); управление (теория и практика управления развитием отрасли / предприятий);
- непроизводственная сфера: туризм.

Инновации в отрасли индустрии питания развиваются по двум направлениям – производство и обслуживание. При этом за рубежом индустрия питания рассматривается как часть индустрии гостеприимства, а производственная составляющая относится к пищевой промышленности [26]. В то время как в российской практике обе составляющих относят к сфере общественного питания.

Так, среди современных направлений для разработки новшеств (пищевых инноваций) можно выделить микроинкапсуляцию [27], молекулярную кухню [28], ферментированную пищевую продукцию [29], пищевой биопринтинг (фуд-принтинг) [30], применение нанотехнологий [31] и технологии молекулярного докинга в проектировании пищевых продуктов [32], совершенствование технологии распылительной сушки [33]. Большое внимание уделяется созданию и практическому внедрению новых видов экоупаковки, в том числе биоразлагаемой [34–37].

С точки зрения организации бизнеса (организационных инноваций) среди инноваций в индустрии питания приоритетно исследование вопросов гастрономического туризма [38], цифровизации индустрии питания [39], разработки бизнес-моделей отрасли с использованием концепций электронной коммерции и Интернета вещей (IoT) [40], разработки стратегий экологического и устойчивого развития отрасли [41, 42], а также методологии маркетинга для исследования спроса на инновационную пищевую продукцию [43].

Важно учитывать влияние фактора технологического развития, являющегося главной причиной изменений на современном рынке труда. В основе перспективности отраслей и профессий лежит интеграция компетенций разных отраслей, что еще раз подтверждает многоаспектность понятийного аппарата и терминологической системы сферы общественного питания (табл. 3).

Одна из особенностей отрасли общественного питания – многообразие типов / форматов предприятий, оказывающих широкий спектр услуг. Поэтому при разработке стратегии развития отрасли общественного питания невозможно учесть абсолютно все специфические особенности предприятий индустрии питания. Целесообразно рассматривать особенности по укрупненным группам предприятий, которые выражаются

Таблица 3. Примерный перечень смежных профессий будущего в индустрии питания

Table 3. Future professions in the food industry and related industries

Медицина	Менеджмент	Финансовый сектор	Сфера питания
– молекулярный диетолог; – генетический консультант; – консультант по здоровой старости	– экоаналитик в сфере питания; – ВІМ-менеджер; – системный администратор	– оценщик интеллектуальной собственности; – финансовый инжиниринг; – аналитик-системщик	– инновационный менеджер в сфере питания; – нутрициолог; – конструктор функциональных продуктов питания; – проектировщик 3D-печати функциональных продуктов питания
Образование	Биотехнологии	Сельское хозяйство	Туризм и гостеприимство
– игропедагог; – тренер по майнд-фитнесу; – экопроповедник; – тьютер; – ментор стартапов	– биофармаколог; – парковый эколог; – системный биотехнолог; – архитектор живых систем	– ГМО-агроном; – агроном-экономист; – сити-фермер; – агрокибернетик; – сельскохозяйственный эколог	– режиссер индивидуальных туров; – арт-оценщик; – личный тьютер по эстетическому развитию; – разработчик тур-навигаторов

в условном отнесении к сферам ресторанного бизнеса, индустриального питания и социального питания. Характерным представителем ресторанного бизнеса является ресторан, который готовит и реализует еду и напитки по заказу потребителя. Индустриальное питание предназначено для единовременного производства большого объема питания для групп людей, объединенных какой-то ситуацией (например, коллектив завода). Социальное питание предоставляется отдельным категориям граждан за счет средств бюджета, в соответствии с действующим законодательством [18].

Множественность и специфичность предприятий, независимо от отнесения их к укрупненным группам, обуславливает разную готовность к развитию, в том числе инновационному. Например, в деятельности предприятий коммерческого сектора индустрии питания главным является получение прибыли. Однако, согласно Й. Шумпетеру, «прибыль является результатом выполнения новых комбинаций», «без развития нет прибыли, без прибыли нет развития» [44].

Экономический рост – увеличение объемов производства и потребления одних и тех же экономических благ в течение определенного временного интервала (Шумпетер Й.) [44].

Экономическое развитие – появление таких инноваций, как создание нового товара, создание нового метода производства, выход на новые рынки, использование нового источника факторов производства, изменение организации отрасли (Шумпетер Й.) [44].

Экономическое развитие не может быть сведено к понятию прогресса, т. к. прогресс – это лишь один из векторов развития. Развитием можно считать только процесс закономерного перехода системы в более совершенное состояние в направлении «от низшего к высшему».

Экономическое развитие отличается и от модернизации исследуемой системы, т. к. модернизация – это целенаправленно проводимое обновление устаревшей технико-технологической базы, обеспечивающее развитие лишь в длительной перспективе [45].

Ввиду того что в отрасли общественного питания аналогично другим отраслям применяется иерархическая структура, а терминология сопоставима с другими смежными отраслями промышленности, логично изучение функционирования и развития сети предприятий с точки зрения процесса управления инновациями для каждого из предприятий. Такой подход является доступным, т. к. предусматривает реализацию инвестиционных проектов путем приобретения по лицензии ранее разработанных инновационных решений. С точки зрения инновационного развития такие мероприятия можно охарактеризовать как переходный период. Несмотря на то что целью данных инвестиций является развитие предприятий, существенным недостатком этого подхода является копирование и воспроизводство уже существующих, известных потребителям решений.

В этой связи целесообразным является альтернативный подход к развитию предприятий общественного питания и других отраслей. Такой подход заключается в реализации научно-инновационной деятельности, сущность которой – объединение ее участников (государство, научные и научно-образовательные организации, потребительский и другие рынки, объекты инновационной инфраструктуры и т. д.). Перспективность данного подхода – высокая вероятность эффективного функционирования предприятий, результатом которого являются экономическое развитие и социальный эффект, выражающийся в здоровье человека и общества в целом [18].

Инновационная деятельность характеризуется принятием управленческих решений в условиях неопределенности и риска. Инновационная деятельность в сфере общественного питания ярко иллюстрирует эту неопределенность: малый бизнес, децентрализация, высокий уровень зависимости от внешних факторов.

Неопределенность – состояние, заключающееся в недостаточности информации, понимания или знания относительно события, его последствий или возможности его возникновения.

Кроме того, неопределенность характеризуется отсутствием методологического и методического обеспечения, опыта, малым объемом информации при разработке новшества в виде инновационного проекта. Она требует творческого подхода, знаний современных достижений науки, техники и т. д.

В теоретической инноватике разработан и представлен понятийный аппарат (термины и определения), однако он дает общее понимание научно-инновационной деятельности без учета специфики отраслей [46].

Создание понятийного аппарата для определенной области знаний, определение индикаторов, решение методологических вопросов актуальны для развития инновационной деятельности применительно к сфере общественного питания. Ниже приведены некоторые термины и определения, являющиеся частью понятийного аппарата инновационного развития сферы питания, с авторским уточнением и корректировкой.

Сфера общественного питания в условиях инновационной деятельности – разработка новшеств в виде продукции и услуг общественного питания как отрасли агропромышленного комплекса, реализующего Стратегию продовольственной безопасности. В свою очередь, согласно Доктрине продовольственной безопасности, продовольственная безопасность – это гарантия обеспечения каждого гражданина пищевой продукцией, способствующей здоровому образу жизни и формированию человеческого и интеллектуального капитала страны. Индикаторами продовольственной безопасности являются количественные и качественные пороговые значения, по которым оценивается степень ее обеспеченности. В условиях инновационного развития эти критерии опосредованно

могут стать критериями и для оценки развития отрасли общественного питания. Разработка новой пищевой продукции и услуг в условиях инновационной деятельности «от идеи до потребителя» на основе системы «наука и образование – производство – рынок» предполагает выявление и анализ перспектив предприятия на стадии проектирования, в том числе партнерство с участниками инновационной деятельности, для разработки и практической реализации инновационного проекта.

Инновационный проект для продукции и услуг предприятия общественного питания – комплект документов, описывающий алгоритм, процедуру и комплекс мероприятий для создания и реализации новой пищевой продукции, технологии, услуги с учетом особенностей и возможностей предприятия. Инновационный проект дает описание новой идеи в процессе «от идеи до потребителя». Инновационный проект имеет в своей основе интеллектуальную собственность, что соответствует главной задаче инновационной деятельности – насыщению рынка новой продукцией и услугами российского производства. При условном делении предприятий на коммерческие, промышленные и социальные инновационные проекты могут носить соответствующий характер. Однако, независимо от направленности проекта, назначение представляет собой обеспечение населения питанием. Отсюда специфика инновационных проектов в этой сфере – наличие показателей оценки социального эффекта и оценки эффективности результатов проекта.

Эффективность в условиях инновационной деятельности – экономическая эффективность, сформированная в процессе производства и реализации нового товара, технологии, услуги на основе реализации инновационного проекта.

Эффект (социальный эффект) в условиях инновационной деятельности – удовлетворение потребителя в новизне потребительских свойств новых товаров и услуг на основе практической реализации инновационного проекта и вывода инноваций на рынок.

При условии, что продукция общественного питания схожа по многим показателям и критериям с продуктами питания, производимыми пищевыми предприятиями, ее относят к традиционным инновациям. Проблемами применительно к услуге общественного питания остаются понятие и структура инновационного проекта. В этом направлении отсутствует опыт как у предприятий общественного питания, так и у грантодающих организаций.

Инновационная программа в социальной сфере общественного питания в условиях инновационной деятельности (федеральная, региональная программы) – комплекс инновационных проектов и мероприятий с обозначением ресурсов, исполнителей, сроков исполнения и индикаторов эффективности, в том числе профилактической для предупреждения неинфекционных хронических заболеваний, на основе разра-

ботки и вывода на рынок новых продуктов питания функционального назначения.

Кадры инновационной сферы общественного питания – специалисты инновационной деятельности в сфере общественного питания, владеющие личными лидерскими качествами, инструментарием научно-технического творчества для проектирования, производства и реализации новых товаров, технологий и услуг в рамках инновационного проекта на основе принципа междисциплинарности и трансформации инженерных знаний в отраслевых и / или региональных условиях.

Инновация – конечный результат инновационной деятельности, получившей реализацию в виде нового или усовершенствованного продукта, технологии, используемых на практике. Отличительной характеристикой инновации является наличие интеллектуальной собственности.

Анализ специализированной научно-технической литературы показывает, что предприятия общественного питания зачастую выдают замену технологического оборудования за инновацию, что не является корректным.

Рассмотрения и разграничения требуют два термина, имеющих самостоятельное назначение и сущностное наполнение: экономический рост отражает количественные изменения, а экономическое развитие – качественные. В существующих условиях функционирования предприятий общественного питания для них в большей степени подходит термин экономический рост.

Следует также отличать термин инновационное развитие от мероприятий по повышению качества продукции и услуг, которые разрабатываются на основе:

- анализа существующего качества продукции и услуг;
- предпочтений потребителя и рынка в определенном качестве;
- направлений развития рынка и прогноза научно-технологического развития.

Кроме того, понятийный аппарат должен конкретизировать понимание того или иного термина. Например, отличие модернизации и инновации.

В соответствии со словарем-справочником терминов нормативно-технической документации, модернизация (от англ. modern – современный, передовой, обновленный) – это обновление объекта, приведение его в соответствие с новыми требованиями, нормами, техническими условиями и показателями качества. Модернизироваться могут оборудование и технологические процессы. Например, для предприятий общественного питания актуализация нормативной документации (СанПиН, HACCP и др.) влечет за собой элементы модернизации технологического процесса.

Модернизация продукции – создание продукции с улучшенными потребительскими свойствами при помощи ограниченного изменения исходной продукции и взамен ее, в соответствии с ГОСТ Р 15.000-2016.

Например, для предприятий общественного питания это замена в рецептуре одного ингредиента на другой при корректировке технико-технологической карты блюда.

Другая ошибка, возникающая при разработке стратегии развития предприятий общественного питания, – это подмена понятий бизнес-плана и инновационного проекта.

Бизнес план – документ, дающий развернутое обоснование проекта и возможность всесторонне оценить эффективность принятых решений, планируемых мероприятий с учетом рисков. То есть бизнес-план дает описание эффективности внедрения и реализации существующей идеи, но, возможно, в других граничных условиях.

Как было отмечено, инновационный проект – это результат научно-инновационной деятельности, реализуемой творческим коллективом. Возможность разработки новых товаров и услуг на предприятиях общественного питания в реальных условиях функционирования отсутствует. Поэтому целесообразно формировать партнерские отношения с научными и образовательными организациями. Для решения этой задачи целесообразно давать оценку инновационного потенциала основных участников инновационного процесса (научные, образовательные организации, предприятия общественного питания).

Потенциал организации – ресурсы всех видов (человеческие, финансовые, материально-технические), которые могут быть использованы для достижения целей предприятия.

Научно-технический потенциал показывает способность организации к производству новых знаний, на основе которых разрабатываются новые технические решения в виде результатов интеллектуальной собственности (изобретение, свидетельство о государственной регистрации авторского права, ноу-хау).

Инновационный потенциал – степень готовности предприятия к реализации новшества в виде инновационного проекта, разработанного на основе имеющихся ресурсов в структурных подразделениях предприятия или приобретенного в виде патентов, лицензий на изобретения и т. д. [18, 46].

Инновационное производство – это производство товаров и услуг на основе новых знаний в рамках новой структуры организации и управления предприятием индустрии питания, составляющей конкурентные преимущества. На предприятии с высокой инновационной активностью организуется инновационный процесс – создание новшеств в виде новых товаров, технологий и услуг.

Сложность отнесения того или иного предприятия к инновационно активному заключается в отсутствии четкого определения инновационного предприятия, прописанного в официальных документах. Терминология, используемая в области инновационной деятельности, в большей степени отражает специфику деятельности высокотехнологичных, наукоемких производств

со сложной организационной структурой управления. Для таких производств предложены критерии отнесения товаров, работ, услуг к инновационной продукции. Ранее отмеченные предпосылки для развития предприятий общественного питания в условиях инновационной деятельности свидетельствуют об актуальности разработки методологии формирования и управления качеством новшеств (продукция, услуги) на этапах проектирования, разработки и продвижения на рынок.

Понятие о методе и методологии включает:

- методология – система принципов и способов организации, построения теоретической и практической деятельности, а также учение об этой системе;
- метод – путь или способ научного познания какой-либо реальности;
- методика отвечает конкретным целям и задачам исследования, содержит в себе описание объекта и процедур изучения, способов фиксации и обработки полученных данных.

Разработана авторская структура методологии инновационного развития отрасли общественного питания, которая представляет собой трехуровневую систему, состоящую из теоретического, эмпирического и технологического уровней (табл. 4).

В связи с тем что процесс развития отрасли общественного питания происходит в период формирования и реализации новой парадигмы подготовки специалистов для отраслей производственной сферы, готовых к инновационной деятельности, структура методологии включает теоретический уровень, отражающий совокупность принципов, подходов и теории для описания процесса развития предприятий общественного питания в условиях инновационной деятельности.

Эмпирический уровень методологии включает методы исследования, оценки; методики управления качеством, развитием объектов и систем; механизмы реализации процессов.

К технологическому уровню отнесены характеристика деятельности предприятий питания, логическая и временная структуры деятельности. Характеристика структурных элементов методологии приведена в таблице 5.

В условиях научно-инновационной деятельности товародвижение принимает новое понимание – это процесс разработки и реализации инновационного проекта по актуальной тематике на основе интеллектуальной собственности с целью социально-экономического развития отрасли / региона.

В условиях инновационной деятельности рассматривают два подхода к генерации и отбору идей для разработки и реализации инновационного проекта – на основе теории управления инновациями как экономической категории и с позиции научно-инновационной деятельности в процессе «от идеи до потребителя»: – с позиции управления инновациями – применение апробированных проектов производства и реализации

новых товаров (приобретение у патентообладателя прав на использование новшеств в виде патентов, лицензий на изобретения, ноу-хау и т. д. для выпуска инновационной продукции и ее реализации на рынке); – с позиции организации научно-инновационной деятельности в системе «наука и образование – производство – рынок». Интеграция с научными и образовательными организациями для совместной разработки новшеств в виде инновационного проекта, оформления интеллектуальной собственности и привлечения специалистов научных и образовательных организаций, готовых к практической реализации инновационных проектов на предприятии и выведения продукции на рынок. Целесообразна интеграция с другими участниками инновационной деятельности в отрасли и регионе (ассоциации, союзы, элементы инновационной инфраструктуры и т. д.).

Развитие высокотехнологичных производств базовых отраслей промышленности России строится в большей степени на втором подходе. В сложившихся усло-

виях развития предприятий общественного питания как представителя малого предпринимательства приемлемы оба подхода.

Выводы

Исследователи разных областей знаний имеют общий взгляд на переходную эпоху как историческую систему со своими закономерностями, затрагивающими все сферы деятельности человечества: политическую, социально-экономическую, материально-техническую и др. Однако пространственная неравномерность экономического развития, обусловленная рядом особенностей (территориальные, региональные, отраслевые, ресурсные), вызывает необходимость применения системного анализа в граничных условиях конкретного случая для последующей разработки концепции развития.

Начало XXI в. ознаменовалось поиском вектора для разработки новой государственной идеологии, которая принимала бы во внимание национальные интересы. Важным и сложным в это время оказался

Таблица 4. Методология развития предприятий общественного питания в условиях инновационной деятельности

Table 4. Development methodology for public catering enterprises in the context of innovative activity

Теоретический уровень методологии		
Общенаучные принципы: – принцип единства теории и практики; – творческий, научно-исторический подходы к исследуемой проблеме; – единство исторического и логического; – принцип детерминизма		Подходы: – теоретико-методологический; – закономерность инновационного цикла; – подходы к управлению (классический, системный, процессный, логико-когнитивный)
Конкретно-научные принципы: – принципы товароведения (безопасность, эффективность, системность, комплексность, научность, свобода выбора); – принцип системности и последовательности; – принцип верификации		Термины и определения (понятийный аппарат): – для предприятий общественного питания в условиях инновационного развития отрасли Теория: – законы диалектики; – закон причинно-следственной связи; – теоретическая инноватика
Эмпирический уровень методологии		
Методы: – установление граничных условий; – теоретические (анализ, синтез, классификация); – методы научно-технического творчества; – эвристические (метод экспертных оценок); – эмпирические (наблюдение, измерение, эксперимент и т. д.)	Методики: – методика управления качеством пищевых продуктов в условиях инновационной деятельности; – методика поискового проектирования научно-производственного потенциала в рамках инновационного проекта	Механизмы: – инновационного развития предприятий / отрасли общественного питания; – формирования и функционирования тематических кластеров; – бизнес-процесс инновационной деятельности
Технологический уровень методологии		
Характеристика деятельности (особенности, условия): – особенности предприятий / отрасли; – граничные условия развития предприятий общественного питания в условиях инновационной деятельности, включая региональные особенности	Логическая структура деятельности: – развитие научно-инновационной деятельности на предприятиях общественного питания; – управление инновациями на предприятиях общественного питания; – получение социального эффекта и экономической эффективности	Временная структура деятельности (этапы деятельности предприятий общественного питания в условиях научно-инновационной деятельности): – 1 этап – повышение конкурентоспособности до 75 %; – 2 этап – инновационный потенциал

Таблица 5. Структурные элементы методологии инновационного развития предприятий общественного питания и их характеристика

Table 5. Structural elements of innovative development in public catering

Структурные элементы	Характеристика
Общенаучные принципы	
Принцип единства теории и практики	Разработка основных элементов методологии развития предприятий общественного питания в условиях инновационной деятельности и их практическое применение.
Принцип творческого, научно-исторического подхода к исследуемой проблеме	В условиях инновационного развития отрасли как этапа социально-экономического развития общества разработка новых продуктов питания должна осуществляться в рамках инновационного проекта, составляющей которого является поисковое проектирование. В исследовании этот принцип выражается в разработке методики поискового проектирования новых пищевых продуктов на основе методов научно-технического творчества.
Единство исторического и логического	В соответствии со стратегиями развития России, начиная с 1996 г. реалистическим путем развития отраслей и регионов является инновационный путь. Анализ научно-технической литературы показывает, что в ведущих отраслях промышленности инновации являются базой для развития, что формирует исторический путь инновационной системы России. Процесс инновационного развития предприятий отрасли общественного питания специфичен и требует анализа основных положений законов диалектики и теоретической инноватики, разработки механизмов их трансформации и адаптации применительно к специфическим условиям предприятий отрасли.
Законы диалектики	Сущность и явление; причина и следствие; необходимость и случайность; возможность и действительность; содержание и форма; единичное, особенное, общее и др. положены в основу разработки теоретико-методологического подхода к инновационному развитию отрасли общественного питания в региональных условиях.
Закон причинно-следственной связи	Перспективность развития предприятий общественного питания в условиях инновационной деятельности на основе сформированного инновационного потенциала, который в результате подготавливает специалистов, понимающих суть инновационной деятельности, способных осуществлять эту деятельность, умеющих разрабатывать инновационные проекты на основе интеллектуальной собственности и способных к их практической реализации на предприятии, т. е. формировать новые потребительские свойства разрабатываемой продукции и управлять ее качеством на всех этапах товародвижения.
Принцип детерминизма	Выявление и учет влияния различных факторов на инновационное развитие предприятий общественного питания: основные (наука и образование, производство, рынок) и дополнительные (инновационная инфраструктура, государственная и инновационная политика, инновационный потенциал, инновационный проект).
Конкретно-научные принципы (товароведные принципы при разработке инновационных проектов в сфере питания, в том числе предприятий общественного питания)	
Принцип безопасности	Предотвращение какого-либо отрицательного воздействия новых видов продуктов питания на организм, обусловленного, с одной стороны, необходимостью наличия интеллекта в инновационном проекте, с другой – широтой выбора сырья различного происхождения (натуральное, биотехнологическое, микробиологическое, в том числе генетически модифицированное и / или др.), полученного благодаря новым технологиям, возможно, недостаточно изученного, что находит выражение в необходимости взаимосвязи «фундаментальные исследования – прикладные исследования» в закономерности инновационного цикла. Подтверждается результатами исследований на соответствие требованиям нормативной документации.
Принцип эффективности	Конечная цель инновационного проекта – его коммерциализация. Принцип эффективности инновационного проекта для сферы питания предполагает результативность в виде совокупности социального эффекта и экономической эффективности. Социальный эффект направлен на функциональность нового продукта для организма человека.
Принцип совместимости	Способность специалистов научных и образовательных организаций, предприятий питания одинаково видеть проблему и пути ее решения в рамках инновационного проекта с заинтересованностью обеих сторон в его коммерциализации и выведении разрабатываемого продукта на рынок с получением экономической эффективности.
Принцип комплексности	Разработка, производство и реализация нового продукта в рамках инновационного проекта предполагают выявление и интеграцию участников в рамках программ различного уровня: федеральный, региональный, тематический кластер и т. д. Программы предполагают структуру органов и организаций – исполнителей и механизмов их взаимодействия, систему управления, наличие нормативной базы, приоритетные направления развития отрасли, критические технологии и т. д.

Продолжение таблицы 5

Структурные элементы	Характеристика
Принцип свободы выбора	Партнерство научно-образовательных организаций и производств при разработке инновационного проекта, с одной стороны, может быть свободным, с другой – основанным на оценке инновационного потенциала участников.
Принцип научной обоснованности	Установление основополагающей методологии, заключающейся в разработке инновационного проекта на основе закономерности инновационного цикла.
Принцип систематизации	Положен в основу разработки классификации предприятий общественного питания для выделения группы с определенным уровнем конкурентоспособности, которая при условии партнерства с научными и образовательными организациями может разработать стратегию, направленную на формирование инновационного потенциала и готовность к разработке инновационного проекта, в том числе совместно с научными и образовательными организациями.
Принцип системности и последовательности	Употребим при разработке инфраструктурной практико-ориентированной модели подготовки специалистов для научно-инновационной деятельности в сфере питания университета с целью повысить эффективность реализации бизнес-процессов. Элементами инфраструктурной практико-ориентированной модели являются основные элементы управления процессом: ресурсы – мотивация – деятельность – результат.
Принцип верификации	Применен при разработке методики управления качеством пищевых продуктов с опорой на системообразующие факторы инновационного развития предприятий общественного питания.
Подходы теоретического уровня методологии	
Закономерность инновационного цикла	Жизненный цикл товара отражает этапы, которые он проходит в период своего существования. В условиях инновационной деятельности жизненный цикл рассматривается в закономерности инновационного цикла на основе инновационной деятельности «от идеи до потребителя». Этапы инновационного цикла включают фундаментальные исследования, прикладные исследования, инновационную диффузию.
Термины и определения для предприятий общественного питания в условиях инновационного развития отрасли	
Понятийный аппарат	Понятийный аппарат служит важнейшим компонентом системы логически упорядоченных новых знаний для последующих стандартизации и применения на практике. Актуально для общественного питания, т. к. требует уточнения с точки зрения специфики отрасли. Сформулирован на основе общепринятых терминов в инноватике с учетом специфики предприятий общественного питания.
Теории	
Теоретическая инноватика	Процесс развития отраслей жизнедеятельности общества и человеческого капитала, направленных на повышение качества жизни людей. Применен в исследовании для теоретического обоснования развития предприятий общественного питания в условиях инновационной деятельности.
Эмпирический уровень методологии	
Граничные условия	Практичны для выделения общественного питания как самостоятельной отрасли, но взаимосвязанной с деятельностью других направлений агропромышленного комплекса; выделения специфических особенностей деятельности предприятий общественного питания и их учета при описании процесса развития в условиях инновационной деятельности.
Методы научно-технического творчества	Применимы в исследовании как элемент процесса разработки инновационного проекта на этапе проектирования, как обязательный элемент в процессе подготовки специалиста для научно-инновационной деятельности.
Технологический уровень методологии	
Характеристика деятельности предприятий общественного питания	Конструктивна для оценки существующего состояния деятельности предприятий общественного питания и определения готовности и перспектив развития в условиях инновационной деятельности.
Логическая структура деятельности	Процесс развития предприятий общественного питания в условиях инновационной деятельности, включая специфику отрасли, предполагает рассмотрение его с точки зрения элементов процесса развития научно-инновационной деятельности и с точки зрения процесса управления инновациями.
Временная структура деятельности	Инновационное развитие предприятий отраслей базируется на наличии и оценке инновационного потенциала участников системы «наука и образование – производство – рынок»: научных, образовательных организаций и производств. Интеллектуальный потенциал предприятий общественного питания формируется поэтапно и представляет собой процесс повышения конкурентоспособности до уровня, при котором есть возможность оценки инновационного потенциала.
Товародвижение на предприятиях общественного питания	Согласно научной и практической литературе, в торговле товародвижение – это организация завоза товаров в регионы для удовлетворения спроса. На предприятиях общественного питания под товародвижением понимают процесс «от сырья до готовой продукции» и ее реализацию. В условиях научно-инновационной деятельности товародвижение – это процесс разработки новшеств (от идеи до потребителя).

вопрос обеспечения населения России продовольствием. Аналитики тех лет заключали, что на рынке более половины объема продовольствия было зарубежного производства. Отрасль общественного питания, выполняющая задачу организации питания населения и, как следствие, формирующая и обеспечивающая продовольственную безопасность страны, является предметом всестороннего изучения, начиная с теоретических исследований, особенно в переходный период. Причиной тому послужило то, что в 2000-х гг. предприятия отрасли в основной своей массе пошли по пути развития, ориентируясь на зарубежный практический опыт. Четкая концепция / стратегия развития отрасли общественного питания отсутствует до сих пор.

Разработка теоретико-методологических основ процесса развития любой системы начинается с формирования понятийного аппарата и терминологической системы, опирающихся на особенности исследуемого объекта. Обозначены граничные условия развития предприятий общественного питания на данном этапе – инновационное развитие на основе научно-инновационной деятельности в системе «наука и образование – производство – рынок». В работе проведен анализ понятийного аппарата и терминологической базы с учетом смежных областей знаний (наука, образование, производство) с целью дальнейшей адаптации результатов применительно к отрасли общественного питания. Проведено уточнение и даны разъяснения по ряду терминов, применяемых при разработке методологии инновационного развития предприятий / отрасли.

Предложена методология развития предприятий общественного питания в условиях научно-инновационной деятельности, включающая три уровня: теоретический (совокупность принципов, подходов и понятийного аппарата), эмпирический (методы, методики и механизмы) и технологический, отражающий особенности и условия, при которых происходит развитие, а также структуру деятельности предприятий при разных условиях функционирования, временную структуру, т. е. этапы переходного периода.

Даны подробное описание и характеристика элементов методологии с конкретизацией применительно к развитию отрасли общественного питания в условиях научно-инновационной деятельности.

Приведена теоретико-методологическая база развития предприятий общественного питания с учетом особенностей инновационной деятельности в региональных условиях.

Материал статьи представляет собой теоретическое исследование, может применяться при проведении фундаментально-прикладных исследований в других аспектах инновационного развития предприятий общественного питания / отрасли.

Результаты исследований применимы в практической деятельности при:

- разработке методического обеспечения дисциплин научно-образовательного процесса для специалистов бакалавриата и магистратуры по направлениям, прямо или косвенно связанным со сферой питания (пищевая промышленность, индустрия гостеприимства, торговля, менеджмент и т. д.);
- подготовке кадров высшей квалификации по научной специальности «Пищевые системы»;
- разработке стратегии развития предприятий общественного питания с учетом специфики их деятельности с точки зрения моделирования процессов;
- разработке концепции инновационного развития отрасли общественного питания в региональных условиях.

Критерии авторства

Все авторы внесли равный вклад в исследование и несут равную ответственность за информацию, опубликованную в данной статье.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors have contributed equally to the study and are equally responsible for the information published in this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Борисоглебская Л. Н., Нехорошков В. Ю. Методология разработки инновационных проектов. Инновации. 2012. № 1. С. 82–88. [Borisoglebskaya LN, Nekhoroshkov VYu. Methodology of innovative projects development. Innovations. 2012;(1):82–88. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/RDUHVB>
2. Borowski PF. Innovative processes in managing an enterprise from the energy and food sector in the era of Industry 4.0. Processes. 2021;9(2):381. <https://doi.org/10.3390/pr9020381>
3. Бондаренко В. М. Новая парадигма развития России в эпоху глобальных трансформаций. М.: Научные труды Вольного экономического общества России; 2020. Т. 223. С. 347–356. [Bondarenko VM. New paradigm of Russia's development in the era of global transformations. Moscow: Scientific Works of Free Economic Society of Russia. 2020;223:347–356. (In Russ.)] <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2020-223-3-347-356>

4. Маркелов С. В. Инновационная парадигма в разрезе научных теорий, определений и терминов. Журнал прикладных исследований. 2021. № 2–1. С. 81–87. [Markelov SV. Innovation paradigm in the context of scientific theories, definitions and terms. Journal of Applied Research. 2021;(2–1):81–87. (In Russ.)] https://doi.org/10.47576/2712-7516_2021_2_1_81
5. Куракова Н. Г. Наталия Куракова: в качестве главного субъекта научно-технологического развития страны вновь выбран ученый. Экономика науки. 2016. Т. 2. № 2. С. 151–154. [Kurakova NG. Natalia Kurakova: The scientist remains the main subject of Russia's scientific and technological development. Economics of Science. 2016;2(2):151–154. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XEUGWJ>
6. Goetze TS. The concept of a university: Theory, practice and society. Danish Yearbook of Philosophy. 2019;52(1):61–81. <https://doi.org/10.1163/24689300-05201001>
7. He VF, von Krogh G, Sirén C, Gersdorf T. Asymmetries between partners and the success of university-industry research collaborations. Research Policy. 2021;50(10):104356. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104356>
8. Rossoni AL, de Vasconcellos EPG, de Castilho Rossoni RL. Barriers and facilitators of university-industry collaboration for research, development and innovation: A systematic review. Management Review Quarterly. 2023;74:1841–1877. <https://doi.org/10.1007/s11301-023-00349-1>
9. Ribeiro SX, Nagano MS. On the relation between knowledge management and university-industry-government collaboration in Brazilian national institutes of science and technology. VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems. 2023;53(4):808–829. <https://doi.org/10.1108/VJIKMS-01-2020-0002>
10. Chrysos CE. University-industry interactions in the Sultanate of Oman: Challenges and opportunities. Industry and Higher Education. 2020;34(5):342–357. <https://doi.org/10.1177/0950422219896748>
11. Alibekova G, Tleppayev A, Medem TD, Ruzanov R. Determinants of technology commercialization ecosystem for universities in Kazakhstan. Journal of Asian Finance, Economics and Business. 2019;6(4):271–279. <https://elibrary.ru/XTPPOC>
12. Bilić I, Škokić V, Lovrinčević M. Academic entrepreneurship in post-transition country – Case study of Croatia. Journal of the Knowledge Economy. 2021;12:41–55. <https://doi.org/10.1007/s13132-017-0452-6>
13. Saguy IS, Silva CLM, Cohen E. Emerging challenges and opportunities in innovating food science technology and engineering education. npj Science of Food. 2024;8:5. <https://doi.org/10.1038/s41538-023-00243-w>
14. Газя Е. Н., Романенко Е. В. Процессы формирования стратегии поведения субъектов малого, среднего и крупного предпринимательства в условиях инновационной конкуренции. Техника и технологии строительства. 2019. № 1. С. 29–34. [Gazy EN, Romanenko EV. Processes of formation of behavior strategy of the subjects small, medium and large businesses in the conditions of innovation competition. Construction technology and engineering. 2019;(1):29–34. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ZGFGFW>
15. Figueiredo N, Fernandes C. Cooperation university-industry: A systematic literature review. International Journal of Innovation and Technology Management. 2020;17(8):2130001. <https://doi.org/10.1142/S0219877021300019>
16. Бирюков В. В., Романенко Е. В. Институты и институционально-эволюционная парадигма развития малого предпринимательства. Омский научный вестник. 2012. № 1. С. 34–38. [Biryukov VV, Romanenko EV. Institutions and institutionally-and-evolutionary paradigm of small-scale business development. Omsk Scientific Bulletin. 2012;(1):34–38. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PCATGH>
17. Галкин П. В., Светлов И. Е. Стратегия развития человеческого капитала как один из приоритетов современного государственного управления. Вестник университета. 2018. № 1. С. 54–58. [Galkin PV, Svetlov IE. Strategy of human capital development as one of the priorities direction of modern governance. Vestnik Universiteta. 2018;(1):54–58. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2018-1-54-58>
18. Маюрникова Л. А., Кокшаров А. А., Крапива Т. В., Петкович А. И., Мешков В. О. Анализ и перспективы инновационного развития предприятий общественного питания. Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 1. С. 140–149. [Mayurnikova LA, Koksharov AA, Krapiva TV, Petkovich AI, Meshkov VO. Public catering enterprises: Analysis and prospects of innovative development. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(1):140–149. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2421>
19. Котенко В. П. Парадигма как методология научной деятельности. Библиосфера. 2006. № 3. С. 21–25. [Kotenko VP. Paradigm as a methodology of scientific activity. Biblosphere. 2006;(3):21–25. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/HTLYAN>
20. Новиков А. М., Новиков Д. А. О предмете и структуре методологии. Мир образования – образование в мире. 2008. № 1. С. 29–40. [Novikov AM, Novikov DA. On the subject and structure of methodology. The World of Education – Education in the World. 2008;(1):29–40. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ISHSXP>
21. Мареев С. Н., Мареева Е. В. «Стоимость» или «ценность»: Ответ В. Я. Чеховскому. Вестник МИРБИС. 2017. № 2. С. 17–19. [Mareev SN, Mareeva EV. “Cost” or “value”: The answer to VYa Chekovsky. Vestnik MIRBIS. 2017;(2):17–19. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ZFLVJX>
22. Филиппов Л. И. Философия о содержании и методологии научного познания (исследования). Гуманитарные научные исследования. 2022. № 2. Номер статьи 5. [Filippov LI. Content and methodology of scientific knowledge: Philosophy of research. Scientific Research in Humanities. 2022;(2):5. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ESCFVZ>

23. Акимова Е. Н., Шатаева О. В., Николаев М. В., Тимченко В. О. Проблемы развития малого и среднего бизнеса в России, необходимость и сущность институциональных преобразований. Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2022. № 3. С. 6–20. [Akimova EN, Shatayeva OV, Nikolaev MV, Timchenko VO. Problems of development of small and medium-sized businesses in Russia, the necessity and essence of institutional transformations. Bulletin of Moscow Region State University. Series: Economics. 2022;(3):6–20. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/NQSDEN>
24. Попова М. К. Управление развитием инновационного предпринимательства в России. Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. 2023. Т. 9. № 1. С. 122–130. [Popova MK. Management of the development of innovative entrepreneurship in Russia. Research Result. Business and Service Technologies. 2023;9(2):122–130. (In Russ.)] <https://doi.org/10.18413/2408-9346-2023-9-2-0-10>
25. Андреева Г. Р., Мусина Г. Ф. Заимствование специальной терминологии в сфере туризма. Научное обозрение: гуманитарные исследования. 2016. № 12. С. 158–161. [Andreeva GR, Musina GF. Borrowing the professional terminology in the field of tourism. Scientific Review: Humanities. 2016;(12):158–161. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XQZHTT>
26. Romero I, Tejada P. Tourism intermediaries and innovation in the hotel industry. Current Issues in Tourism. 2020; 23(5):641–653. <https://doi.org/10.1080/13683500.2019.1572717>
27. Arenas-Jal M, Suñé-Negre JM, García-Montoya E. An overview of microencapsulation in the food industry: Opportunities, challenges, and innovations. European Food Research and Technology. 2020;246:1371–1382. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03496-x>
28. Моргунова А. В., Омаров Р. С., Коротаев И. С. Реализация инновационных технологий при производстве продуктов общественного питания. Вестник КрасГАУ. 2020. № 2. С. 126–131. [Morgunova AV, Omarov RS, Korotaev IS. The implementation of innovative technologies in the production of public catering items. Bulletin of KrasGAU. 2020;(2):126–131. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-2-126-131>
29. Galimberti A, Bruno A, Agostinetto G, Casiraghi M, Guzzetti L, *et al.* Fermented food products in the era of globalization: Tradition meets biotechnology innovations. Current Opinion in Biotechnology. 2021;70:36–41. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.10.006>
30. Oral MO, Derossi A, Caporizzi R, Severini C. Analyzing the most promising innovations in food printing. Programmable food texture and 4D foods. Future Foods. 2021;4:100093. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100093>
31. Ashraf SA, Siddiqui AJ, Elkhaila AEO, Khan MI, Patel M, *et al.* Innovations in nanoscience for the sustainable development of food and agriculture with implications on health and environment. Science of The Total Environment. 2021; 768:144990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144990>
32. Tao X, Huang Y, Wang Ch, Chen F, Yang L, *et al.* Recent developments in molecular docking technology applied in food science: A review. International Journal of Food Science and Technology. 2020;55(1):33–45. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14325>
33. Samborska K, Poozesh S, Barańska A, Sobulska M, Jedlińska A, *et al.* Innovations in spray drying process for food and pharma industries. Journal of Food Engineering. 2022;321:110960. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.110960>
34. Drago E, Campardelli R, Pettinato M, Perego P. Innovations in smart packaging concepts for food: An extensive review. Foods. 2020;9(11):1628. <https://doi.org/10.3390/foods9111628>
35. Nilsen-Nygaard J, Noriega Fernández E, Radusin T, Rotabakk BT, Sarfraz J, *et al.* Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021;20(2):1333–1380. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12715>
36. Versino F, Ortega F, Monroy Yu, Rivero S, López OV, *et al.* Sustainable and bio-based food packaging: A review on past and current design innovations. Foods. 2023;12(5):1057. <https://doi.org/10.3390/foods12051057>
37. Khandeparkar AS, Paul R, Sridhar A, Lakshmaiah VV, Nagella P. Eco-friendly innovations in food packaging: A sustainable revolution. Sustainable Chemistry and Pharmacy. 2024;39:101579. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101579>
38. Kuhn VR, Gadotti dos Anjos SJ, Wendhausen Krause R. Innovation and creativity in gastronomic tourism: A bibliometric analysis. International Journal of Gastronomy and Food Science. 2024;35:100813. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100813>
39. Mitrofanova IV, Chernova OA, Batmanova VV. Digitalization of business processes in adaptation of catering industry to new realities: Covid-19 pandemic. Serbian Journal of Management. 2022;17(1):237–251. <https://doi.org/10.5937/sjml17-34603>
40. Nosratabadi S, Mosavi A, Lakner Z. Food supply chain and business model innovation. Foods. 2020;9(2):132. <https://doi.org/10.3390/foods9020132>
41. Kuo FI, Fang WT, LePage BA. Proactive environmental strategies in the hotel industry: Eco-innovation, green competitive advantage, and green core competence. Journal of Sustainable Tourism. 2022;30(6):1240–1261. <https://doi.org/10.1080/09669582.2021.1931254>
42. Speck M, Wagner L, Buchborn F, Steinmeier F, Friedrich S, *et al.* How public catering accelerates sustainability: A German case study. Sustainability Science. 2022;17:2287–2299. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01183-2>

43. Guiné RPF, Florença SG, Barroca MJ, Anjos O. The link between the consumer and the innovations in food product development. *Foods*. 2020;9(9):1317. <https://doi.org/10.3390/foods9091317>
44. Шумпетер Й. А. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия. М.: Эксмо; 2008. 251 с. [Schumpeter JA. Theory of economic development. Capitalism, Socialism and Democracy. Moscow: Eksmo; 2008. 251 p. (In Russ.)]
45. Коваленко Ю. Н., Улезько А. В. Стратегические аспекты повышения эффективности управления агропродовольственным комплексом региона. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 12. № 2. С. 120–127. [Kovalenko YuN, Ulez'ko AV. Strategic aspects of improving the management efficiency in the regional agri-food complex. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2019;12(2):120–127. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.2.120>
46. Горников Н. В., Маюрникова Л. А., Новоселов С. В., Крапива Т. В., Кокшаров А. А. Роль инновационной среды в развитии предприятий общественного питания в региональных условиях. *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52. № 1. С. 70–78. [Gornikov NV, Mayurnikova LA, Novoselov SV, Krapiva TV, Koksharov AA. Innovative environment in public catering. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(1):70–78. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-70-78>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2560>
<https://elibrary.ru/JDVENF>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Анализ профиля ароматообразующих соединений в сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники



В. В. Бахарев*, П. А. Феоктистов

Самарский государственный технический университет , Самара, Россия

Поступила в редакцию: 23.05.2024

Принята после рецензирования: 17.06.2024

Принята к публикации: 02.07.2024

*В. В. Бахарев: knilsstu@gmail.ru,

<https://orcid.org/0000-0001-8515-9309>

П. А. Феоктистов: <https://orcid.org/0009-0009-2701-2814>

© В. В. Бахарев, П. А. Феоктистов, 2025



Аннотация.

При производстве плодовой алкогольной продукции важное значение имеют вкусовые и органолептические свойства исходного фруктового или ягодного сырья. Благодаря высоким органолептическим характеристикам и полезным физиологическим свойствам земляники может быть использована для производства плодовой алкогольной продукции. Цель работы – проанализировать профиль ароматообразующих соединений в сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники, образующихся в процессе ферментации исходного сырья.

Объектами исследования послужили образцы сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники сорта Брилла (*Fragaria Brilla*). В лабораторных условиях определены физико-химические показатели полученных образцов. Проведен газохроматографический анализ (газовый хроматограф «Кристалл-2000М», Россия) отогнанного спирта-сырца. Выделение ароматообразующих компонентов проводили жидкостно-жидкостной экстракцией. Анализ компонентов экстракта проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии (газовый хроматограф Agilent, США).

Физико-химические показатели образцов сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники соответствовали требованиям ГОСТ 59942-2021. Газохроматографический анализ показал наличие характерных спутников спиртового брожения. Провели сравнительный анализ ароматообразующих соединений сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции и трех сортов земляники. Идентифицировано 61 соединение, формирующее аромат плодовой алкогольной продукции. Установлено, что часть соединений сохраняется в неизменном виде из земляничного сырья (спирты, сложные эфиры, фураны, углеводороды), другая часть образуется в процессе ферментации (спирты до C₆, этиловые эфиры карбоновых кислот, фураны, карбоновые кислоты), а оставшиеся соединения полностью разрушаются дрожжами при брожении (альдегиды и кетоны, терпены).

Полученные результаты подтвердили высокий органолептический потенциал земляники и могут быть использованы для совершенствования технологий производства плодовой алкогольной продукции. Перспективным направлением продолжения исследования будет детальное изучение трансформации ароматических соединений плодового сырья на разных стадиях ферментации.

Ключевые слова. Ягода, земляника, *Fragaria Brilla*, ароматообразующие вещества, ароматический профиль, брожение, плодовая алкогольная продукция, жидкостно-жидкостная экстракция

Для цитирования: Бахарев В. В., Феоктистов П. А. Анализ профиля ароматообразующих соединений в сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 166–180. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2560>

Aroma Compounds in Dry and Sweet Strawberry Alcoholic Beverages



Vladimir V. Bakharev*, Pavel A. Feoktistov

Samara State Technical University, Samara, Russia

Received: 23.05.2024
Revised: 17.06.2024
Accepted: 02.07.2024

*Vladimir V. Bakharev: knilsstu@gmail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-8515-9309>
Pavel A. Feoktistov: <https://orcid.org/0009-0009-2701-2814>

© V.V. Bakharev, P.A. Feoktistov, 2025



Abstract.

The original flavor and other sensory properties are important for alcoholic drinks made of fruits or berries. Strawberries, with their exceptional sensory and nutritional profile, are an excellent raw material for functional alcoholic beverages. The article describes the aroma compounds that develop in dry and sweet strawberry alcohol during fermentation.

The research featured strawberries of the Brilla variety (*Fragaria Brilla*) processed into dry and sweet alcoholic beverages. The physicochemical parameters of the distillates were determined using the method of gas chromatography (Kristall-2000M, Russia). The isolation of aroma components involved the method of fluid-fluid extraction. The method of gas chromatography-mass spectrometry (Agilent, USA) made it possible to analyze the components of the extract.

The physicochemical indicators complied with State Standard GOST 59942-2021. The gas chromatography analysis revealed substances typical of alcoholic fermentation. The aroma compounds in dry/sweet alcoholic beverages were compared with those in three different strawberry varieties. The test identified 61 aroma compounds. Alcohols, esters, furans, and hydrocarbons remained the same as in the raw strawberries. Alcohols ($\leq C_6$), ethyl esters of carboxylic acids, furans, and carboxylic acids developed during fermentation. Aldehydes, ketones, and terpenes were completely destroyed by yeast during fermentation. The obtained results confirmed the high sensory potential of strawberries and improved the technologies of fruit alcohol production. Further research will focus on the transformation of aroma compounds at different fermentation stages.

Keywords. Berry, strawberry, *Fragaria Brilla*, aroma compounds, aroma profile, fermentation, fruit alcoholic beverages, fluid-fluid extraction

For citation: Bakharev VV, Feoktistov PA. Aroma Compounds in Dry and Sweet Strawberry Alcoholic Beverages. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):166–180. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2560>

Введение

Крупноплодная земляника или земляника садовая (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) представляет собой межвидовой гибрид, возникший спонтанно более 250 лет назад в Европе при совместном выращивании двух октоплоидных американских видов *Fragaria chiloensis* (земляника чилийская) и *Fragaria virginiana* (земляника виргинская). Полученный гибрид имеет общие характеристики обоих родительских видов: крупные плоды *F. chiloensis*, красный цвет *F. virginiana* и уникальный аромат, полученный в результате их скрещивания [1, 2]. По комплексу органолептических характеристик и пищевой ценности земляника является фаворитом среди различных ягод и фруктов. Однако, из-за высокой частоты дыхания и тонкого эпидермиса [3–5] свежая земляника является скоропортящейся ягодой, особенно при транспортировке и длительном хранении. По этой причине большие объемы земляники перерабатываются в продукты (сок, желе,

нектар, пюре, концентрат или джем), которые, с одной стороны, сохраняют полезные свойства ягоды, а с другой, обладают длительными сроками хранения [6–8]. Возможная альтернатива – производство плодовой алкогольной продукции, которое рассматривается как одно из важных направлений сохранения и использования физиологического и органолептического потенциала этих ягод. Несмотря на то что виноградные вина доминируют на рынке винодельческой продукции, в последние годы существенно вырос интерес к плодовой алкогольной продукции. Большое значение при ее производстве имеют вкусовые и органолептические характеристики исходного фруктового сырья, поэтому особое внимание исследователей и производителей привлекают ягоды и фрукты, обладающие оригинальным вкусом и ароматом [6–8].

Пищевую и физиологическую ценность земляники определяют содержащиеся в ней растворимые углеводы, органические кислоты, аминокислоты и витамины,

такие как: фолиевая кислота, тиамин, рибофлавин, никотиновая кислота, витамины (С, В₆, К, А, Е) и микроэлементы (железо, магний, йод, медь, фосфор) [9]. Кроме того, земляника богата фенольными соединениями и флавоноидами (в основном антоцианами), гидролизуемыми дубильными веществами (эллагитаннинами и галлотаннинами), фенольными кислотами и конденсированными дубильными веществами (проантоцианидинами), которые отвечают за антиоксидантный и противовоспалительный эффекты [10].

К настоящему моменту в землянике идентифицировано около 360 ароматических соединений [11–14]. Основными классами соединений, создающими привлекательный для потребителя аромат земляники, являются спирты, сложные эфиры, альдегиды, кетоны, фураноны, терпены [15–22]. Значительное влияние на вкус и аромат земляники оказывает баланс между моносахаридами (глюкоза, фруктоза, сахароза) и органическими кислотами (лимонная, яблочная) [23]. Анализ ароматообразующих соединений по соотношению их концентрации и порога запаха показал, что основной вклад во вкус и аромат свежей земляники вносят около 20 соединений [14, 17, 24, 25]. Сложные эфиры являются наиболее распространенной категорией соединений, ответственной за фруктовый вкус и запах, поскольку образуются при этерификации различных спиртов и ацил-КоА, присутствующих в созревающей землянике [15, 25]. Таким образом, благодаря комплексу органолептических характеристик и полезных физиологических свойств, земляника как исходное сырье занимает важное место среди других ягод и фруктов.

Ароматический профиль плодовой алкогольной продукции из земляники формируется из двух основных компонентов. Первый – это букет по происхождению, который включает ароматические соединения исходной земляники, отражает ее сортовые особенности, степень спелости, агротехнические методы выращивания и климатические условия. Второй компонент – букет по образованию, включающий вещества, образующиеся в результате метаболических превращений под действием ферментов дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и химических реакций как во время ферментации, так и при последующей выдержке вина [26, 27, 38]. Следует также учитывать утрату некоторых ароматических соединений сырья вследствие химических и биохимических процессов.

Существует ряд исследований, посвященных технологии производства плодовой алкогольной продукции из земляники, ее физико-химическим характеристикам, а также содержащимся в ней ароматическим соединениям и антоцианам [28–37, 39, 40]. Однако сведения о том, какие ароматические соединения переходят в алкогольную продукцию из исходного сырья в неизменном виде, а какие образуются в процессе ферментации или выдержки, крайне ограничены [36]. В этой связи научный и практический интерес обусловлен

анализом изменений профиля ароматических веществ, включая соединения, переходящие в алкогольную продукцию из ягод земляники, а также образующиеся или исчезающие в ходе ферментации.

Цель данного исследования заключалась в анализе профиля ароматообразующих соединений в сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники и их сравнении с профилем ароматических соединений в землянике.

Объекты и методы исследования

Исходное сырье. Земляника сорта Брилла (*Fragaria Brilla*) – не ремонтантный, суперранний, высокопродуктивный сорт. Выведен в 2004 г. в городе Чезена (Италия) межсортовым скрещиванием, в качестве родительских экземпляров использовали разновидности Трибют (Tribute), Альба (Alba), Дарселект (Darselect), Брайтон (Brighton), Чезена (Cesena). В России выращивается с 2017 г.

Растение представляет собой хорошо облиственный среднерослый компактный куст с мощной системой корней. Образует умеренное количество толстых и крепких усов, которые не мешают при сборке урожая. Цветоносы земляники многозачатковые, чуть полегают из-за большого веса плодов, отлично опыляются. Листья темно-зеленые. Сорт пригоден для транспортировки, отличается хорошим товарным видом, ягоды не мнутся и не текут, долго хранятся без потери качества. Ягода подходит как для употребления в свежем виде, так и для заморозки, размораживания, переработки.

Ягоды крупные, среднеплотные, хорошо отрываются от плодоножки, имеют конусовидно-вытянутую форму; цвет насыщенный, красно-оранжевый; семянки желтые и мелкие. По внешним характеристикам земляника Брилла красивая, однородная, с великолепным товарным видом. Вес ягоды в среднем составляет 30–40 г, некоторые – 50 г. Мякоть плодов не слишком плотная, сладкая, с приятной кислинкой, массовая доля сахара – 7,7–8,0 %.

Реагенты. Дихлорметан и н-пентан для экстракции поставлены фирмой «Галахим» (г. Москва), безводный сульфат натрия (х.ч.) и метабисульфит калия (х.ч.) – фирмой «Вектон» (г. Санкт-Петербург).

Приготовление образцов сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники сорта Брилла. Земляника (30 кг) была собрана в период технической зрелости в Самарской области в третьей декаде июня 2023 г. Переработка осуществлялась в лаборатории технологии броидильных процессов Высшей биотехнологической школой Самарского государственного технического университета.

Землянику измельчали на вальцах гребнеотделителя, предварительно удалив хвостики. Полученную мезгу сульфитировали (50 мг/кг SO₂ в виде метабисульфита калия), выход – 29 кг. Мезгу прессовали в корзинчатом прессе Voran (ООО «СИДРВИЛЬ», Россия).

Сусло (24 л) осветляли при 0–2 °С в течение 24 часов, устанавливали содержание в нем сахаров и доводили до 200 г/л внесением 2 л раствора сахара. Сусло делили на две партии по 13 л, нагревали до 15 °С и вносили дрожжи Vitilevure 58W3 (0,2 г/л сусла). Брожение вели при 15 °С, контролируя содержание сахаров; при 80 г/л (примерно через 48 ч) провели спиртование одной партии сусла спиртом-ректификатом (95 % об.) до суммарного содержания спирта 15 %. Вторую партию сбродили до содержания сахаров менее 1 г/л (15 суток). Полученные партии плодовой алкогольной продукции дополнительно сульфитировали (50 мг/кг SO₂ в виде метабисульфита калия) и осветляли при температуре 0–2 °С в течение 72 ч. Плодовую алкогольную продукцию отделили от дрожжевого осадка декантацией, выдержали 48 ч и изучили.

Физико-химические показатели сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники определяли следующим образом: плотность – по ГОСТ 32081-2013, объемную долю этилового спирта – по ГОСТ 32095-2013, массовую концентрацию общего экстракта – по ГОСТ 32000-2012, массовую концентрацию титруемых кислот в пересчете на яблочную кислоту – по ГОСТ 32114-2013, массовую концентрацию летучих кислот в пересчете на уксусную кислоту – по ГОСТ 32001-2012, массовую концентрацию сахаров – по ГОСТ 13192-73, водородный показатель и массовую концентрацию фенольных веществ – по методике, представленной в источнике [41], массовую концентрацию общего диоксида серы – по ГОСТ 32115-2013.

Газохроматографический (ГХ) анализ. Образец для ГХ анализа получали отгонкой сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники (250 мл) с дефлегматором (10 см) и нисходящим холодильником. Температура окончания отгонки – 98 °С. Использовался газовый хроматограф «Кристалл-2000М» (Хроматэк, Россия), соединенный с пламенно-ионизационным детектором. В колонку HP-FFAP (50м×0,32 мм; 0,5 мкм толщина слоя) (Agilent, США) вводили 1 мкл отгона. Программа температуры нагрева составляла: 75 °С (5 мин) – 5 °С/мин – 110 °С (5 мин) – 10 °С/мин – 210 °С (5 мин). Температура инжектора и передаточной линии – 200 °С, детектора – 220 °С. В качестве газа-носителя использовался азот при расходе 3,0 мл/мин.

Выделение ароматообразующих компонентов осуществляли методом жидкостно-жидкостной экстракции. Образцы сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники (200 мл) экстрагировали 50 мл смеси *n*-пентана и дихлорметана (соотношение 60:40 по объему) в течение 12 ч с перемешиванием магнитной мешалкой. Растворитель отделяли центрифугированием (3000 об/мин, 15 мин), сушили безводным сульфатом натрия и отгоняли с дефлегматором (50 см) до объема 1 мл, затем концентрировали в токе азота до объема 0,2 мл.

Анализ ароматообразующих компонентов с применением метода газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Для ГХ-МС анализа использовали газовый хроматограф Agilent модели 7890А, соединенный с масс-селективным детектором модели 5975С. В кварцевую колонку с малоподвижной фазой HP5ms (30м×0,25 мм; 0,25 мкм толщина слоя) вводили 1 мкл экстракта. Устанавливали следующее программирование температуры ГХ-разделения: 70 °С (5 мин) – 1 °С/мин – 95 °С (10 мин) – 2 °С/мин – 190 °С (20 мин). Температура инжектора и передаточной линии – 250 °С и 280 °С соответственно. Делитель потока – 1:20. Задержка на выход растворителя – 3 мин. Масс-детектирование: энергия ионизации – 70 эВ; температура ионного источника – 230 °С, температура квадруполя – 150 °С, скорость сканирования – 1 скан/с; диапазон захвата – 45–450 а.е. В качестве газа-носителя использовался гелий марки А при расходе 0,7 мл/мин. Идентификация веществ осуществлялась по библиотекам масс-спектров NIST 11, Wiley 11 с учетом индексов удерживания.

Результаты и их обсуждение

Схема получения образцов сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники и проведенных анализов представлена на рисунке 1.

Для полученных образцов сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники были определены физико-химические показатели (табл. 1).

Физико-химические показатели полученных образцов сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники соответствовали нормам, согласно ГОСТ 59942-2021 и ранее приведенным научным работам [28–30, 35, 36]. Однако в работах [28–30, 35, 36, 39] концентрация фенольных веществ выше (в среднем 100–200 мг/дм³).

ГХ-анализ отогнанного спирта-сырца из образцов сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники показал наличие метанола в концентрациях 0,11–0,16 %об., сивушных спиртов (пропан-1-ола, 2-метилпропан-1-ола, 3-метилбутан-1-ола и гексан-1-ола) и 2-фенилэтанола. В образце сладкой плодовой алкогольной продукции из альдегидов были идентифицированы ацетальдегид, бензальдегид и кротоновый альдегид, из сложных эфиров – только этилацетат. За исключением кротонового альдегида и бензальдегида, все эти соединения являются стандартными спутниками спиртового брожения [42].

Для определения ароматообразующих компонентов в образцах сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники были выбраны метод жидкостно-жидкостной экстракции смесью растворителей (*n*-пентан и дихлорметан) и метод ГХ-МС, часто используемый для того, чтобы проанализировать летучие соединения [49]. Выбор растворителей обусловлен хорошей экстрагирующей способностью *n*-пентана в отношении гидрофобных соединений и аналогичной

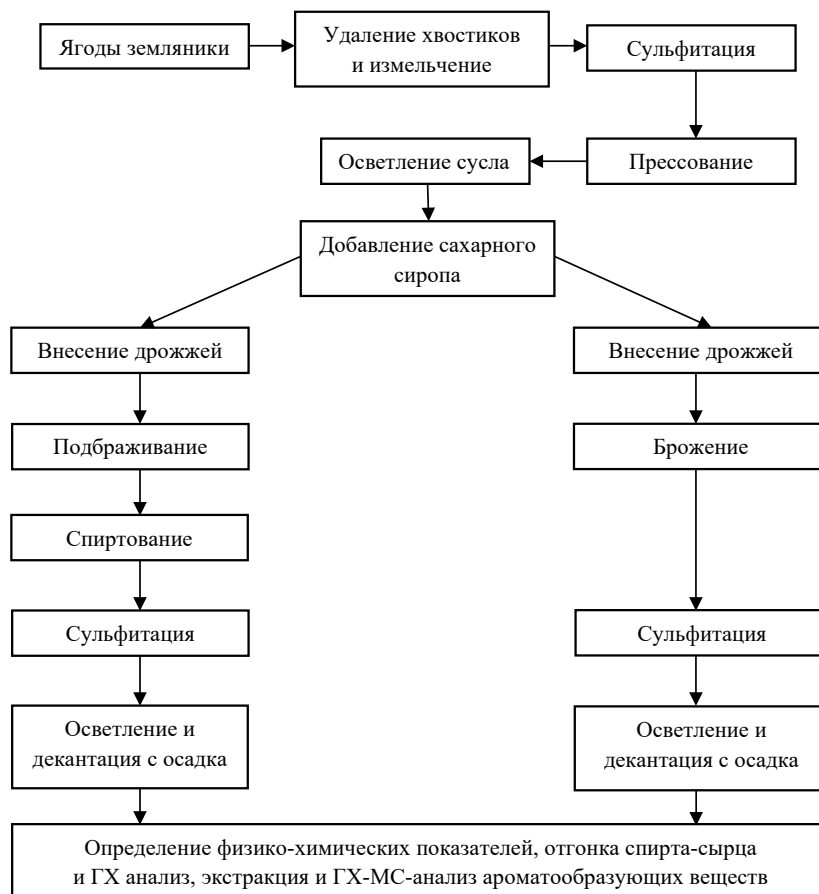


Рисунок 1. Схема проведенных исследований

Figure 1. Research design

Таблица 1. Физико-химические показатели сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники

Table 1. Physicochemical parameters of dry and sweet strawberry alcoholic beverages

Показатель	Образец сухой плодовой алкогольной продукции	Образец сладкой плодовой алкогольной продукции
Цвет	Светло-розовый	Красно-розовый
Плотность (20 °C), г/см ³	0,989	1,009
Объемная доля этилового спирта, %об.	12,20	14,90
Массовая концентрация общего экстракта, г/дм ³	24,9	94,8
Массовая концентрация титруемых кислот в пересчете на яблочную кислоту, г/дм ³	7,7	6,7
Активная кислотность, pH	3,4	3,3
Массовая концентрация летучих кислот в пересчете на уксусную кислоту, г/дм ³	1,02	1,14
Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	0,8	84,5
Массовая концентрация фенольных веществ, мг/дм ³	1273,0	1450,0
Массовая концентрация общего диоксида серы, мг/дм ³	78,0	89,0

характеристикой дихлорметана в отношении более полярных соединений. Кроме того, эти растворители имеют достаточно низкую температуру кипения, что облегчает их удаление из экстракта. Результаты ГХ-МС-анализа представлены на рисунках 2, 3.

Сравнение данных хроматографии (рис. 2, 3) показывает, что сухая плодовая алкогольная продукция

из земляники обладает более богатым компонентным составом ароматических соединений, чем сладкая. Это можно объяснить тем, что подбраживание сладкой плодовой алкогольной продукции было прервано на начальном этапе (через 2 суток), в то время как ферментация сухой плодовой алкогольной продукции из земляники была более продолжительной (15 суток).

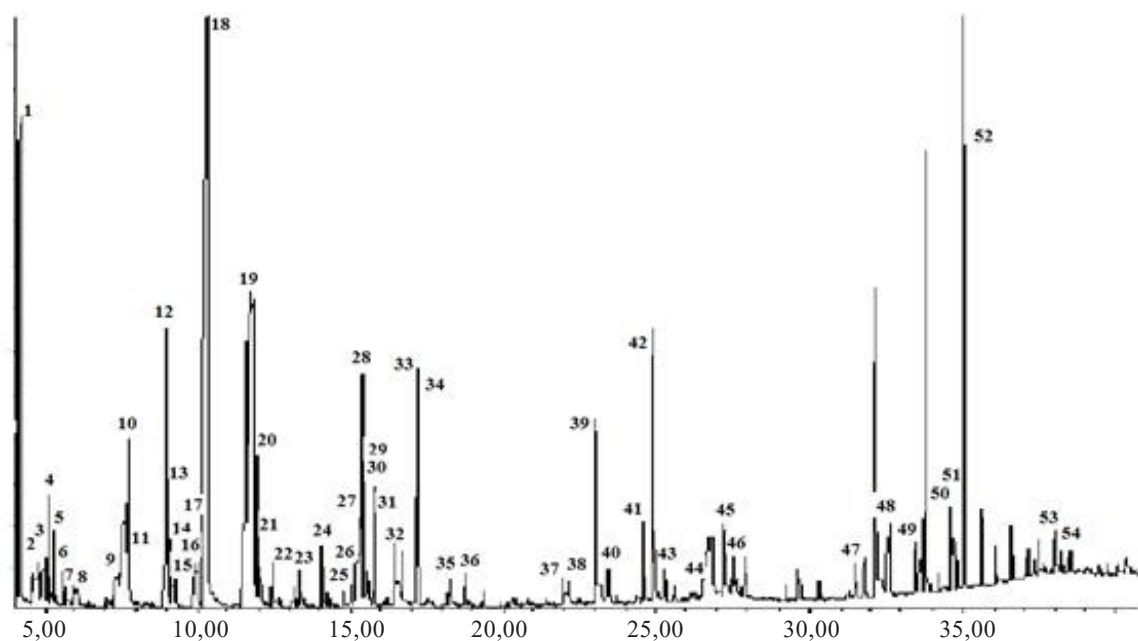


Рисунок 2. Хроматограмма ароматообразующих компонентов сухой плодовой алкогольной продукции из земляники

Figure 2. Chromatogram of aroma components of dry strawberry alcoholic beverages

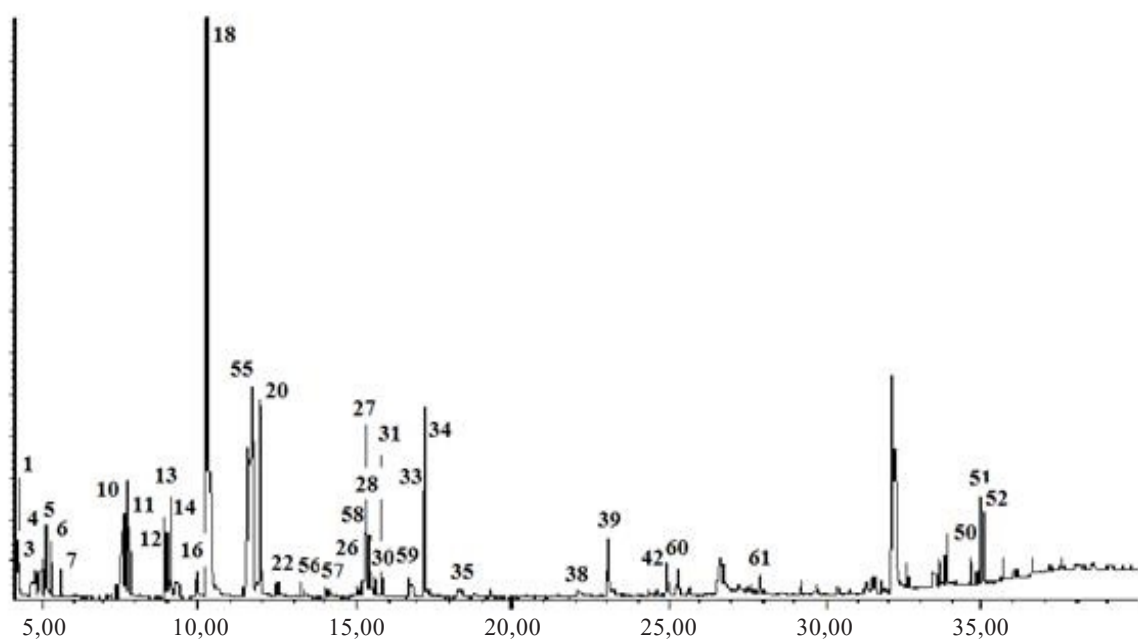


Рисунок 3. Хроматограмма ароматообразующих компонентов сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники

Figure 3. Chromatogram of aroma components of sweet strawberry alcoholic beverages

Для проведения сравнительного анализа ароматических веществ в исследуемых образцах сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники и в ягодах земляники в таблице 2 приведены данные по содержанию ароматических соединений в трех сортах: один из родительских сортов красной садовой земляники (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) – зем-

ляника чилийская *Fragaria chiloensis* (L.) Mill subsp. *chiloensis* forma *chiloensis* (I) [43]; гибридная испанская земляника сорта Пескера в гибридной комбинации 232×1392 (II) [44]; китайская земляника, выращенная в провинции Шеньси (III) [36].

Сравнительный анализ спиртовых компонентов показывает, что в образцах сухой и сладкой плодовой

Таблица 2. Сравнение компонентного состава летучих ароматических соединений сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники, полученного методом жидкостно-жидкостной экстракции и определенного методом газовой хромато-масс-спектрометрии

Table 2. Volatile aroma compounds in dry vs. sweet strawberry alcoholic beverages (fluid-fluid extraction and GC-MS)

Соединение	Образцы плодовой алкогольной продукции				Земляника			Описание аромата соединения
	сухой		сладкой					
	Время удерживания, мин	Площадь пика, %	Время удерживания, мин	Площадь пика, %	I [43]	II [44]	III [36]	
Спирты								
Метанол	5,15 ^a	0,156 ^c	5,14 ^a	0,112 ^c	–	–	–	–
Пропан-1-ол	7,14 ^a	360,400 ^b	7,13 ^a	303,000 ^b	–	–	+	фруктовый [28]
2-Метилтиоэтанол (2) ^d	4,66	0,210	–	–	–	–	–	–
3-Метилтиопропанол (9)	7,37	0,390	–	–	–	–	–	зеленой фасоли [53]
Бутан-1-ол	–	–	–	–	+	–	+	спиртовой [28]
2-Метилпропан-1-ол	8,29 ^a	1841,300 ^b	8,28 ^a	33,900 ^b	+	–	–	косточек абрикоса [28]
Пентан-1-ол	–	–	–	–	–	–	+	терпкий [28]
3-Метилбутан-1-ол	10,86 ^a	4353,600 ^b	10,80 ^a	3480,200 ^b	+	–	+	сырный [28], ягодный [43]
Гексан-1-ол (5)	5,14 13,89 ^a	0,710 65,400 ^b	5,14 13,80 ^a	1,040 25,800 ^b	+	–	+	листовой, фруктовый [28]
Гептан-1-ол	–	–	–	–	–	–	+	виноградный [28]
Гептан-2-ол	–	–	–	–	–	+	+	лимонный [28]
Октан-1-ол	–	–	–	–	–	+	+	апельсиновый, розовый [28]
Нонан-1ол	–	–	–	–	–	–	+	зелени [46]
Нонан-2-ол	–	–	–	–	–	+	+	фруктовый [28]
2-Этил-гексан-1-ол	–	–	–	–	+	–	+	зелени [43]
Декан-1-ол	–	–	–	–	–	+	+	апельсиновый цвет [50]
Додекан-1-ол	–	–	–	–	+	–	–	ягодный [43]
Гексадекан-1-ол	–	–	–	–	+	–	–	специй [43]
Гептадекан-1-ол	–	–	–	–	+	–	–	фруктовый [43]
Пент-1-ен-3-ол	–	–	–	–	–	+	–	–
Гекс-2-ен-1-ол	–	–	–	–	–	+	–	зеленых листьев [16]
Гекс-3-ен-1-ол	–	–	–	–	–	–	+	травяной [47]
Гепт-4-ен-1ол	–	–	–	–	–	–	+	–
Окт-5-ен-1ол	–	–	–	–	–	–	+	–
Окт-1-ен-3-ол	–	–	–	–	–	–	+	–
Бутан-2,3-диол	–	–	–	–	–	–	+	резины [28]
Бензиловый спирт	–	–	–	–	+	–	+	цветочный [43]
2-Фенилэтанол (18)	10,23 23,00 ^a	27,740 158,000 ^b	10,31 23,00 ^a	40,410 61,900 ^b	+	–	+	розы [28]
2-(4-Гидроксифенил) этанол (32)	16,49	1,070	–	–	–	–	–	–
3-Фенилпропанол	–	–	–	–	+	–	+	цитрусовый [43]
Коричный спирт	–	–	–	–	+	–	–	цветочный [43]
Эвгенол	–	–	–	–	–	+	–	гвоздичный [43]
Сложные эфиры								
Этиловый эфир уксусной кислоты	5,08 ^a	1055,900 ^b	5,06 ^a	752,000 ^b	+	+	+	фруктовый эфирный [28]
Бутиловый эфир уксусной кислоты	–	–	–	–	–	+	–	сладкий, фруктовый [43]
Гексиловый эфир уксусной кислоты	–	–	–	–	+	+	+	грушевый [28], банановый [43]
Бензиловый эфир уксусной кислоты	–	–	–	–	+	+	–	молочный [43]
Гексадеканоиловый эфир уксусной кислоты (44)	26,51	0,140	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 2

Соединение	Образцы плодовой алкогольной продукции				Земляника			Описание аромата соединения
	сухой		сладкой					
	Время удерживания, мин	Площадь пика, %	Время удерживания, мин	Площадь пика, %	I [43]	II [44]	III [36]	
Этиловый эфир молочной кислоты (1)	4,21	2,770	4,20	1,470	–	–	–	фруктовый, маслянистый [46]
Метилловый эфир бутановой кислоты	–	–	–	–	+	+	–	фруктовый [43]
Этиловый эфир бутановой кислоты	–	–	–	–	+	+	–	сахаристый [43]
Этиловый эфир 2-метилбутановой кислоты	–	–	–	–	–	–	+	фруктовый, древесный [43]
Этиловый эфир 3-метилбутановой кислоты	–	–	–	–	–	–	+	яблочный, банановый [46]
Этиловый эфир 2-гидрокси-4-метилпентановой кислоты (13)	9,02	0,260	9,02	0,240	–	–	–	ежевичный [46]
Этиловый эфир гексановой кислоты (11)	7,76	1,200	7,76	1,410	+	+	+	зеленого яблока [28]
Этиловый эфир октановой кислоты (20)	11,94	1,430	11,93	2,870	+	+	+	фруктовый [28]
Этиловый эфир 3-гидроксипутановой кислоты	–	–	–	–	+	–	–	фруктовый, виноградный [46]
Этиловый эфир 4-гидрокси-бутановой кислоты (12)	8,98	2,230	8,97	1,170	–	–	–	–
Моноэтиловый эфир янтарной кислоты (19)	11,76	4,360	–	–	–	–	–	фруктовый [47]
Диэтиловый эфир яблочной кислоты (23)	13,37	0,300	–	–	–	–	–	–
2-Фенилэтиловый эфир уксусной кислоты (56)	–	–	13,21	0,200	+	–	+	цветочный, фруктовый [47]
Фурфуритовый эфир уксусной кислоты	–	–	–	–	+	–	–	тропических фруктов [43]
2-Метилбутиловый эфир уксусной кислоты	–	–	–	–	–	+	–	–
3-Метилбутиловый эфир уксусной кислоты (6)	5,29	0,440	5,28	0,610	–	+	–	банановый [16]
Этиловый эфир 2-гидрокси-3-метилбутановой кислоты	–	–	–	–	–	–	+	–
Этиловый эфир 3-гидрокси-2-метилбутановой кислоты	–	–	–	–	–	–	+	–
Этиловый эфир декановой кислоты (31)	15,80	0,730	15,80	1,680	+	+	+	фруктовый [28]
Этиловый эфир дец-2-еновой кислоты	–	–	–	–	–	–	+	восковой, перезрелой груши [51]
Этиловый эфир дец-9-еновой кислоты (30)	15,65	0,160	15,65	0,270	–	–	–	розовый [46]
Этиловый эфир додекановой кислоты	–	–	–	–	+	+	+	маслянистый [46]
Коричный эфир уксусной кислоты	–	–	–	–	+	+	–	сладкий, цветочный [43]

Продолжение таблицы 2

Соединение	Образцы плодовой алкогольной продукции				Земляника			Описание аромата соединения
	сухой		сладкой					
	Время удерживания, мин	Площадь пика, %	Время удерживания, мин	Площадь пика, %	I [43]	II [44]	III [36]	
Этиловый эфир тетрадекановой кислоты	—	—	—	—	+	—	—	клубничный [43]
Этиловый эфир гексадекановой кислоты (43)	25,29	0,170	—	—	+	—	—	карамельный [43]
Этиловый эфир гексадец-9-еновой кислоты (60)	—	—	25,02	0,260	—	—	—	—
Этиловый эфир октадекановой кислоты (61)	—	—	27,91	0,570	+	—	—	слабый запах [51]
Этиловый эфир 4-гидрокси-бензойной кислоты (35)	18,23	0,430	18,30	0,280	—	—	—	—
Этиловый эфир коричной кислоты (33)	17,18	1,360	17,18	1,360	—	—	—	—
Этиловый эфир 4-гидрокси-коричной кислоты (39)	23,02	1,950	23,03	1,650	+	—	—	—
Этиловый эфир 2-гидрокси-3-фенилпропановой кислоты (59)	—	—	16,75	0,320	—	—	—	—
Этиловый эфир 3-фенилпропановой кислоты (26)	14,90	0,320	15,00	0,380	+	—	+	цветочный, медовый [51]
2-(2-Бутоксиэтокси) этиловый эфир уксусной кислоты (27)	15,27	1,140	15,27	1,080	—	—	—	—
Диэтиловый эфир 2-гидрокси-пентандиовой кислоты (29)	15,53	0,190	—	—	—	—	—	—
Альдегиды и кетоны								
Ацетальдегид	4,14 ^a	3420,300 ^b	4,12 ^a	1279,400 ^b	—	—	—	зеленое яблоко [43]
Пентан-2-он	—	—	—	—	+	+	—	карамельный [43]
Пентаналь	—	—	—	—	—	+	—	миндальный [45]
Гексаналь	—	—	—	—	+	+	—	спаржи [43]
Гептаналь	—	—	—	—	+	+	—	цитрусовый [45]
Октаналь	—	—	—	—	—	+	+	цитрусовый [45]
Нонаналь	—	—	—	—	+	+	+	розовый [28]
3-Гидроксибутан-2-он	—	—	—	—	+	—	+	молочный [30]
Кротаналь	—	—	7,61 ^a	6,300 ^b	—	—	—	—
Пент-2-еналь	—	—	—	—	—	+	—	—
Гекс-2-еналь	—	—	—	—	+	+	—	зелени [16]
Гекс-3-еналь	—	—	—	—	—	+	—	травянистый зеленый [57]
Гепт-2-еналь	—	—	—	—	—	+	—	миндальный [54]
Окт-2-еналь	—	—	—	—	—	+	—	ореховый [45]
Нон-2-еналь	—	—	—	—	—	+	—	жирный [45]
Деканаль	—	—	—	—	—	+	—	восковой [45]
Дец-2-еналь	—	—	—	—	—	+	—	жирный [54]
Гекс-2,4-диеналь	—	—	—	—	+	—	—	зеленого чая [43]
Гепт-2,4-диеналь	—	—	—	—	—	+	—	ореховый [56]
Бензальдегид	17,41 ^a	54,500 ^b	17,40 ^a	66,900 ^b	+	+	+	карамельный [43]
Гептан-2-он	—	—	—	—	+	+	—	герани [28]

Продолжение таблицы 2

Соединение	Образцы плодовой алкогольной продукции				Земляника			Описание аромата соединения
	сухой		сладкой		I [43]	II [44]	III [36]	
	Время удерживания, мин	Площадь пика, %	Время удерживания, мин	Площадь пика, %				
Фураны								
2,5-Диметил-4-метоксифуран-3(2H)-он (14)	9,09	0,860	9,09	1,140	+	+	+	фруктовый, карамельный [43]
4-Гидрокси-2,5-диметилфуран-3(2H)-он (15)	9,21	0,380	–	–	+	–	–	карамельный, клубничный [43]
2-Гидроксиметил-дигидрофуран-5(4H)-он (57)	–	–	14,09	0,250	–	–	–	–
2-Пентилфуран	–	–	–	–	–	+	–	маслянистый, фасолевый [55]
2-Этилфуран	–	–	–	–	+	–	–	фруктовый [43]
5-Этилфуран-2(5H)-он	–	–	–	–	+	–	–	карамельный [43]
5-Гексилдигидрофуран-2(3H)-он (34)	17,22	1,470	17,22	2,580	–	–	–	–
Дигидрофуран-2(3H)-он (8)	6,03	0,200	–	–	–	–	–	–
Этиловый эфир дигидрофуран2(3)-он-5-карбоновой кислоты (24)	14,08	0,450	–	–	–	–	–	–
2,3-Дигидробензофуран (22)	12,46	0,710	12,49	0,310	–	–	–	–
Терпены								
3,7-Диметилокта-1,6-диен-3-ол (Линалоол) (16)	9,92	0,350	9,93	0,610	+	+	+	цветочный [43]
<i>a</i> -Терпинеол	–	–	–	–	+	+	–	сирени [43]
Лимонен	–	–	–	–	–	+	+	лайма [43]
Геранилацетон	–	–	–	–	–	+	–	зеленый, древесный [52]
Цитронелол	–	–	–	–	–	–	–	цитрусовый [47]
Сквален (52)	35,00	5,330	35,00	1,230	+	–	–	ореховый [43]
Карбоновые кислоты								
3-Метилтиопропановая кислота (17)	10,00	0,530	–	–	+	–	–	перечный [43]
4-Метилтиобутановая кислота (21)	12,07	0,530	–	–	–	–	–	–
<i>Изо</i> -бутановая кислота	–	–	–	–	+	–	+	сырный [43]
Бутановая кислота	–	–	–	–	+	–	–	молочный [43]
Валериановая кислота	–	–	–	–	+	–	–	грибной [43]
2-Метилбутановая кислота (4)	5,05	0,920	5,00	1,070	–	–	–	фруктовый [16]
3-Метилбутановая кислота (3)	4,81	0,320	4,77	0,980	–	–	–	–
Гексановая кислота (10)	7,70	3,800	7,67	5,250	+	–	–	копрового масла [28]
Октановая кислота (55)	–	–	11,60	4,660	–	–	–	фруктовый [28]
Нонановая кислота	–	–	–	–	+	–	–	сырный [47]
Декановая кислота (28)	15,42	3,600	15,38	4,780	–	–	–	кожаный [47]
Дец-9-еновая кислота (58)	–	–	15,21	0,340	–	–	–	–
Додекановая кислота (36)	18,76	0,260	–	–	–	–	–	–
Тетрадекановая кислота (37)	21,93	0,510	–	–	+	–	–	молочный [43]

Окончание таблицы 2

Соединение	Образцы плодовой алкогольной продукции				Земляника			Описание аромата соединения
	сухой		сладкой		I [43]	II [44]	III [36]	
	Время удерживания, мин	Площадь пика, %	Время удерживания, мин	Площадь пика, %				
Пентадекановая кислота (40)	23,41	0,310	—	—	—	—	—	—
Коричная кислота	—	—	—	—	+	—	—	цветочный [43]
3-Фенилпропионовая кислота (25)	14,80	0,320	—	—	—	—	—	—
Гексадец-9(цис)-еновая кислота (41)	24,58	1,000	—	—	—	—	—	—
Гексадекановая кислота (42)	24,87	2,310	24,84	0,640	+	—	—	молочный [43]
Октадец-9(цис)еновая (олеиновая) кислота (45)	27,23	0,980	—	—	—	—	—	—
Октадекановая (стеариновая) кислота (46)	27,51	0,340	—	—	—	—	—	—
Другие соединения								
Стирол (7)	5,59	0,230	5,59	0,390	+	—	+	цветочный, бальзамический [51]
3-(2-Гидроксиэтил) индол (38)	22,09	0,390	22,12	0,330	—	—	—	—
Нонадекан (54)	38,53	0,240	—	—	—	—	—	—
Эйкозан (51)	34,83	0,440	34,83	0,210	—	—	—	—
Докозан (50)	34,65	0,630	34,65	0,400	—	—	—	—
Тетракозан (48)	32,59	0,590	—	—	—	—	—	—
Пентакозан (47)	31,49	0,330	—	—	—	—	—	—
Октакозан (49)	33,45	0,500	—	—	—	—	—	—
Холест-5-ен-3-ол (53)	38,00	0,550	—	—	—	—	—	—

Примечание: ^a – время удерживания в газохроматографическом анализе отгона спирта-сырца, полученного на хроматографе «Кристалл 2000М» с ПИД; ^b – концентрация соединения в мг/дм³; ^c – концентрация метанола в %об.; ^d – номер соединения на хроматограмме (рис. 2, 3).

Note: ^a – retention time of crude alcohol distillate in gas chromatography (Kristall-2000M); ^b – compound concentration, mg/dm³; ^c – methanol concentration, vol.%; ^d – number of the compound on the chromatogram (Fig. 2, 3).

алкогольной продукции из земляники присутствуют только насыщенные спирты C_1-C_6 , источниками которых может быть как исходная земляника, так и процессы брожения. При этом в образцах плодовой алкогольной продукции полностью отсутствуют насыщенные C_5 (пентан-1-ол)– C_{17} и ненасыщенные C_5-C_8 спирты, широко представленные в образцах земляники. Вероятно, в процессе брожения эти спирты достаточно быстро окисляются до карбоновых кислот. Часть кислот остается в свободном виде: в образцах плодовой алкогольной продукции обнаружены кислоты C_4-C_{18} , включая ненасыщенные деценовую, гекса- и октадеценовые. Другая часть в процессе брожения превращается в ацил-КоА и подвергается этерификации этанолом с образованием этиловых эфиров. В образцах плодовой алкогольной продукции выявлен широкий спектр этиловых эфиров карбоновых кислот C_1-C_{18} . Также в образцах алкоголя в достаточно высокой концентрации присутствует 2-фенилэтанол (определен как методом газохроматографического анализа в отогнанном спирте-сырце, так и методом газовой

хромато-масс-спектрометрии), характерный компонент ароматических веществ земляники, обладающий запахом розы. Бензиловый спирт, присутствующий в образцах земляники, отсутствует в плодовой алкогольной продукции, поскольку окисляется в процессе брожения до бензальдегида (обнаруженного как в сухом, так и в сладком образцах). Однако дальнейшего окисления до бензойной кислоты и ее эфиров не происходит. Помимо ацетальдегида (характерного для спиртового брожения), бензальдегида и небольшого количества кротонового альдегида (в сладком образце), другие альдегиды в плодовой алкогольной продукции не выявлены. Вероятно, все C_5-C_9 альдегиды и кетоны из земляники в условиях спиртового брожения либо окисляются до карбоновых кислот, либо восстанавливаются до спиртов.

Из эфиров уксусной кислоты в образцах плодовой алкогольной продукции преобладает этиловый эфир, остальные (3-метилбутиловый и гексадеканоиловый) обнаружены в следовых количествах. Среди других эфиров присутствуют этиловые эфиры карбоновых

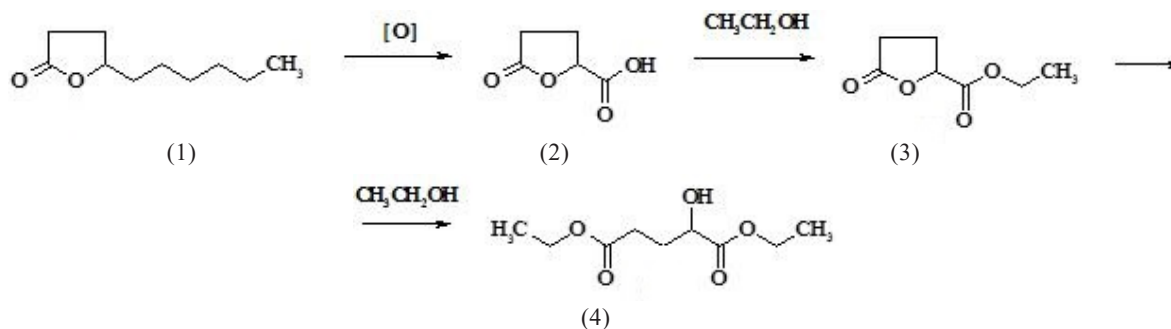


Рисунок 4. Образование диэтилового эфира 2-гидроксипентандиовой кислоты

Figure 4. Formation of 2-hydroxypentanedioic acid diethyl ester

кислот с четным числом атомов углерода (C_4 , C_6 , C_8 , C_{10} , C_{16} , C_{18} , в том числе ненасыщенных). Эфиры кислот из цикла трикарбоновых кислот (янтарной и яблочной) образуются на поздних этапах брожения, т. к. они присутствуют в образце сухой плодовой алкогольной продукции и отсутствуют в образце сладкой плодовой алкогольной продукции, процесс брожения в котором был прекращен через 2 суток добавлением спирта. Еще одной особенностью полученных образцов плодовой алкогольной продукции является наличие этиловых эфиров ароматических кислот (4-гидроксibenзойной, коричной, 4-гидроксикоричной, 3-фенилпропановой и 3-фенил-2-гидроксипропановой), которые практически не встречаются в исходной землянике.

Оба образца плодовой алкогольной продукции содержат достаточно много фурановых соединений. Часть из них, например, 2,5-диметил-4-гидрокси-3(2H)-фуранон и 2,5-диметил-4-метокси-3(2H)-фуранон, образующиеся из глюкозы [48] и присутствующие в земляничном сырье в свободном или гликозилированном виде, не изменяются в процессе брожения и переходят в плодовую алкогольную продукцию. Эти соединения обладают характерным фруктово-карамельным ароматом.

Другая часть фурановых соединений трансформируется в процессе брожения. Например, 5-гексилтетрагидрофуран-2-он (1), обнаруженный в обоих образцах плодовой алкогольной продукции, окисляется до дигидрофуран-2(3H)-он-5-карбоновой кислоты (2), которая этерифицируется с образованием этилового эфира дигидрофуран-2(3H)-он-5-карбоновой кислоты (3), найденного в сухой плодовой алкогольной продукции. Последний реагирует с этанолом с раскрытием фуранового цикла и образованием диэтилового эфира 2-гидроксипентандиовой кислоты (4), найденного в сухой плодовой алкогольной продукции (рис. 4).

2,3-Дигидробензофуран может образовываться при внутримолекулярной окислительной циклизации 2-фенилэтанола (рис. 5).

Из терпенов в образцах плодовой алкогольной продукции был обнаружен только линалоол. Сквален и длинноцепочечные углеводороды (нонадекан, эй-

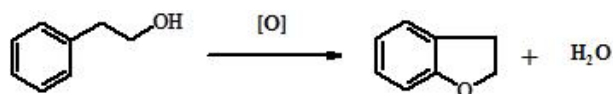


Рисунок 5. Образование 2,3-дигидробензофурана

Figure 5. Formation of 2,3-dihydrobenzofuran

козан, докозан, тетракозан, пентакозан и октакозан), по-видимому, являлись компонентами восков, покрывающих ягоды земляники и перешедших в неизменном виде в плодовую алкогольную продукцию.

Выводы

Физико-химические показатели полученных образцов сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники сорта Брилла соответствуют требованиям ГОСТ 59942-2021. Газохроматографический анализ отогнанного из образцов спирта-сырца показал наличие характерных спутников спиртового брожения. Проведены анализ профиля ароматических соединений сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники с применением метода газовой хромато-масс-спектрометрии и сравнение с ароматическими соединениями трех сортов земляники. Показано, что большинство среднецепочечных (C_7 – C_{10}) спиртов, альдегидов и кетонов полностью метаболлизировались дрожжами в процессе ферментации. Основными ароматическими соединениями как сухого, так и сладкого образцов плодовой алкогольной продукции из земляники определены сложные эфиры (в основном этиловые), низкомолекулярные (до C_6) спирты, фурановые соединения и карбоновые кислоты. Таким образом, часть соединений перешла из земляничного сырья в неизменном виде (спирты, сложные эфиры, фураны, углеводороды), другая часть образовалась в процессе ферментации (спирты до C_6 , этиловые эфиры карбоновых кислот, фураны, карбоновые кислоты), тогда как альдегиды, кетоны и терпены полностью ферментировались дрожжами. Полученные результаты свидетельствуют о высоком органолептическом потенциале земляники и

представляют интерес для совершенствования технологий производства плодовой алкогольной продукции. Перспективным направлением продолжения исследования будет детальное изучение трансформации ароматических соединений плодового сырья на разных стадиях ферментации.

Критерии авторства

П. А. Феоктистов выполнил экспериментальную часть работы. В. В. Бахарев сформулировал цель и задачи исследования, осуществил обработку полученных результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при публикации данной статьи.

Contribution

P.A. Feoktistov performed the experimental part of the research. V.V. Bakharev formulated the research objectives and processed the results.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Vergauwen D, de Smet I. The strawberry tales: Size matters. Trends in Plant Science. 2019;24(1):1–3. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.10.007>
2. Ulrich D, Komes D, Olbricht K, Hoberg E. Diversity of aroma patterns in wild and cultivated *Fragaria* accessions. Genetic Resources and Crop Evolution. 2007;54:1185–1196. <https://doi.org/10.1007/s10722-006-9009-4>
3. Lara I, García P, Vendrell M. Post-harvest heat treatments modify cell wall composition of strawberry (*Fragaria* × *anassa* Duch.) fruit. Scientia Horticulturae. 2006;109(1):48–53. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.03.001>
4. Langer SE, Oviedo NC, María M, Burgos JL, Martínez GA, et al. Effects of heat treatment on enzyme activity and expression of key genes controlling cell wall remodeling in strawberry fruit. Plant Physiology and Biochemistry. 2018;130:334–344. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.07.015>
5. Richardson DG, Kositttrakun M. Off-flavour development of apples, pears, berries, and plums under anaerobiosis and partial reversal in air. In: Russell LR, Margaret ML, editors. Fruit Flavors. WA: ACS Publications; 1995. vol. 596, pp. 211–223. <https://doi.org/10.1021/bk-1995-0596.ch019>
6. Li C, Wu H, Masisi K, Malunga LN, Song Y. Strawberries. In: Jaiswal AK, editor. Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables. London: Academic Press; 2020. pp. 423–435. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00026-X>
7. Hui YH. Handbook of Fruits and Fruit Processing. Iowa: Blackwell Publishing; 2006. 697 p. <https://doi.org/10.1002/9780470277737>
8. Lim TK. Edible medicinal and non-medicinal plants: Volume 4, Fruits. London, NY: Springer Dordrecht; 2012. 1023 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4053-2>
9. Giampieri F, Tulipani S, Alvarez-Suarez JM, Quiles JL, Mezzetti B, et al. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. Nutrition. 2012;28(1):9–19. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009>
10. Danyo EK, Ivantsova MN. Fruit phytochemicals: Antioxidant activity and health-promoting properties. Foods and Raw Materials. 2025;13(1):58–72. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-1-623>
11. Vendel I, Hertog M, Nicolai B. Fast analysis of strawberry aroma using SIFT-MS: A new technique in postharvest research. Postharvest Biology and Technology. 2019;152:127–138. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.03.007>
12. Larsen M, Poll L. Odour thresholds of some important compounds in strawberries. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung. 1992;195:120–123. <https://doi.org/10.1007/BF01201770>
13. Larsen M, Poll L, Olsen C. Evaluation of the aroma composition of some strawberry (*Fragaria ananassa* Duch) cultivars by use of odour threshold values. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung. 1992;195:536–539. <https://doi.org/10.1007/BF01204558>
14. Zhao J, Liu J, Wang F, Wang S, Feng H, et al. Volatile constituents and ellagic acid formation in strawberry fruits of selected cultivars. Food Research International. 2020;138(Part A):109767. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109767>
15. Perez A, Olías R, Luances P, Sanz C. Biosynthesis of strawberry aroma compounds through amino acid metabolism. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002;50(14):4037–4042. <https://doi.org/10.1021/jf011465r>
16. Azodanlou R, Darbellay C, Luisier J-L, Villettaz J-C, Amado R. Quality assessment of strawberries (*Fragaria* species). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003;51(3):715–721. <https://doi.org/10.1021/jf0200467>
17. Ulrich D, Hoberg E, Rapp A, Kecke S. Analysis of strawberry flavour – Discrimination of aroma types by quantification of volatile compounds. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung. 1997;205:218–223. <https://doi.org/10.1007/s002170050154>

18. Urruty L, Giraudel J-L, Lek S, Roudeillac P, Montury M. Assessment of strawberry aroma through SPME/GC and ANN methods. Classification and discrimination of varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002;50(11):3129–3136. <https://doi.org/10.1021/jf0116799>
19. Hakala MA, Lapvetelainen AT, Kallio HP. Volatile compounds of selected strawberry varieties analyzed by purge-and-trap headspace GC-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002;50(5):1133–1142. <https://doi.org/10.1021/jf0111256>
20. Zabetakis I, Holden MA. Strawberry flavour: Analysis and biosynthesis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1997;74(4):421–434. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199708\)74:4%3C421::AID-JSFA817%3E3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199708)74:4%3C421::AID-JSFA817%3E3.0.CO;2-6)
21. Fischer N, Hammerschmidt FJ. A contribution to the analysis of fresh strawberry flavour. *Chemie, Mikrobiologie, Technologie der Lebensmittel*. 1992;14:141–148.
22. da Silva MDRG, das Neves HJC. Complementary use of hyphenated purge-and-trap gas chromatography techniques and sensory analysis in the aroma profiling of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1999;47(11):4568–4573. <https://doi.org/10.1021/jf9905121>
23. Ménager I, Jost M, Aubert C. Changes in physicochemical characteristics and volatile constituents of strawberry (Cv. Cigaline) during maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004;52(5):1248–1254. <https://doi.org/10.1021/jf0350919>
24. Jetti RR, Yang E, Kurnianta A, Finn C, Qian MC. Quantification of selected aroma-active compounds in strawberries by headspace solid-phase microextraction gas chromatography and correlation with sensory descriptive analysis. *Journal of Food Science*. 2007;72(7):487–496. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00445.x>
25. Pérez AG, Rios JJ, Sanz C, Olías JM. Aroma components and free aminoacids in strawberry variety Chandler during ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1992;40(11):2232–2235. <https://doi.org/10.1021/jf00023a036>
26. Ferreira V, Bueno M, Franco-Luesma E, Culleré L, Fernández-Zurbano P. Key changes in wine aroma active compounds during bottle storage of spanish red wines under different oxygen levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014;62(41):10015–10027. <https://doi.org/10.1021/jf503089u>
27. Sadoudi M, Tourdot-Maréchal R, Rousseaux S, Steyer D, Gallardo-Chacón JJ, *et al.* Yeast–yeast interactions revealed by aromatic profile analysis of Sauvignon Blanc wine fermented by single or co-culture of non-*Saccharomyces* and *Saccharomyces* yeasts. *Food Microbiology*. 2012;32(2):243–253. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.06.006>
28. Feng Y, Liu M, Ouyang Y, Zhao X, Ju Y, *et al.* Comparative study of aromatic compounds in fruit wines from raspberry, strawberry, and mulberry in central Shaanxi area. *Food & Nutrition Research*. 2015;59:29290. <https://doi.org/10.3402/fnr.v59.29290>
29. Joshi VK, Sharma S, Bhushan S. Effect of method of preparation and cultivar on the quality of strawberry wine. *Acta Alimentaria*. 2005;34(4):339–353. <https://doi.org/10.1556/AAlim.34.2005.4.2>
30. Kafkas E, Cabaroglu T, Selli S, Bozdoğan A, Kürkçüoğlu M, *et al.* Identification of volatile aroma compounds of strawberry wine using solid-phase microextraction techniques coupled with gas chromatography-mass spectrometry. *Flavour and Fragrance Journal*. 2006;21(1):68–71. <https://doi.org/10.1002/ffj.1503>
31. Li X, Xia X, Wang Z, Wang Y, Dai Y, *et al.* Cloning and expression of *Lactobacillus brevis* β -glucosidase and its effect on the aroma of strawberry wine. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022;46(3):e16368. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16368>
32. Hidalgo C, Torija MJ, Mas A, Mateo E. Effect of inoculation on strawberry fermentation and acetification processes using native strains of yeast and acetic acid bacteria. *Food Microbiology*. 2013;34(1):88–94. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.11.019>
33. Sun Y, Zhang T, Lü H, Yu Z, Li X. Effect of added sulphur dioxide levels on the fermentation characteristics of strawberry wine. *Journal of the Institute of Brewing*. 2016;122(3):446–451. <https://doi.org/10.1002/jib.342>
34. Hornedo O, Álvarez-Fernández RM, Cerezo A, Garcia-Garcia I, Troncoso AM, *et al.* Influence of fermentation process on the anthocyanin composition of wine and vinegar elaborated from strawberry. *Journal of Food Science*. 2017;82(2):364–372. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13624>
35. Sharma S, Joshi VK, Abrol G. An overview on Strawberry [*Fragaria* $\times$ *ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier] wine production technology, composition, maturation and quality evaluation. *Natural Product Radiance*. 2009;8(4):356–365.
36. Song Y, Zhang Y, Liu N, Ye D, Gong X, *et al.* Volatile compounds in wild strawberry and their odorants of wild strawberry wines: Effects of different stages of fermentation. *International Journal of Food Properties*. 2017;20(1):399–415. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1297951>
37. Čakar U, Petrović A, Janković M, Pejin B, Vajs V, *et al.* Differentiation of wines made from berry and drupe fruits according to their phenolic profiles. *European Journal of Horticultural Science*. 2018;83(1):49–61. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.1.7>
38. Pereira AP, Mendes-Ferreira A, Dias LG, Oliveira JM, Estevinho LM, *et al.* Volatile composition and sensory properties of mead. *Microorganisms*. 2019;7(10):404. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7100404>
39. Nehra KS, Sachdeva H, Kumar P, Jangra M, Jangra S. Production technology and analysis of quality parameters of strawberry wine. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2021;22(21–22):40–46.

40. Yang W, Liu S, Marsol-Vall A, Tähti R, Laaksonen O, et al. Chemical composition, sensory profile and antioxidant capacity of low-alcohol strawberry beverages fermented with *Saccharomyces cerevisiae* and *Torulaspora delbrueckii*. LWT. 2021;149:111910. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111910>
41. Гержикова В. Г. Методы технoхимического контроля в виноделии. Симферополь: Таврида; 2002. 260 с. [Gerzhikova VG. Technochemical control in winemaking. Simferopol: Tavrida; 2009. 304 p. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XXPJXB>
42. Родопуло А. К. Основы биохимии виноделия. М.: Легкая и пищевая промышленность; 1983. 240 с. [Rodopulo AK. Basic winemaking biochemistry. Moscow: Legkaya i pishhevaya promy'shlennost'; 1983. 240 p. (In Russ.)]
43. Prat L, Espinoza MI, Agosin E, Silva H. Identification of volatile compounds associated with the aroma of white strawberries (*Fragaria chiloensis*). Journal of the Science of Food and Agriculture. 2013;94(4):752–759. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6412>
44. Zorrilla-Fontanesi Y, Rambla JL, Cabeza A, Medina JJ, Sánchez-Sevilla JF, et al. Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of *o*-methyltransferase *FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content. Plant Physiology. 2012;159(2):851–870. <https://doi.org/10.1104/pp.111.188318>
45. Wang C, Zhang L, Qiao Y, Liao L, Shi D, et al. Effects of ultrasound and ultra-high pressure pretreatments on volatile and taste compounds of vacuum-freeze dried strawberry slice. LWT. 2022;160:113232. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113232>
46. Yao X-C, Zhang H-L, Ma X-R, Xia N-Y, Duan C-Q, et al. Leaching and evolution of anthocyanins and aroma compounds during Cabernet Sauvignon wine fermentation with whole-process skin-seed contact. Food Chemistry. 2024;436:137727. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137727>
47. Diez-Ozaeta I, Lavilla M, Amárita F. Wine aroma profile modification by *Oenococcus oeni* strains from Rioja Alavesa region: Selection of potential malolactic starters. International Journal of Food Microbiology. 2021;356:109324. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109324>
48. Zabetakis I, Gramshaw JW, Robinson DS. 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-2H-furan-3-one and its derivatives: Analysis, synthesis and biosynthesis – A review. Food Chemistry. 1999;65(2):139–151. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00203-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00203-9)
49. Шелехова Н. В., Шелехова Т. М., Скворцова Л. И., Полтавская Н. В. Определение летучих органических примесей в виски методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 787–796. [Shelekhova NV, Shelekhova TM, Skvortsova LI, Poltavskaya NV. Gas chromatography-mass spectrometry of volatile organic impurities in whiskey. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):787–796. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2406>
50. Li N, Li G, Guan X, Li A, Tao Y. Volatile aroma compound-based decoding and prediction of sweet berry aromas in dry red wine. Food Chemistry. 2025;463(Part 2):141248. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141248>
51. Wang H, Shang R, Gao S, Huang A, Huang H, et al. Characterization of key aroma compounds in a novel Chinese rice wine *Xijiao Huojiu* during its biological-ageing-like process by untargeted metabolomics. Heliyon. 2024;10(14):e34396. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34396>
52. Ao H, Tang C, Lu Y, Zhang Y, He L, et al. Characterization of physicochemical properties, sensory characteristics, and volatile compounds with a special focus on the terpene profile of commercial Chinese kiwifruit wines. Journal of Food Composition and Analysis. 2025;140:107187. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107187>
53. Welke JE, Nicolli KP, Hernandez KC, Biasoto ACT, Zini CA. Adaptation of an olfactometric system in a GC-FID in combination with GCxGC/MS to evaluate odor-active compounds of wine. Food Chemistry. 2022;370:131004. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131004>
54. Jia X, Cui H, Qin S, Ren J, Zhang Zh, et al. Characterizing and decoding the key odor compounds of *Spirulina platensis* at different processing stages by sensomics. Food Chemistry. 2024;461:140944. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140944>
55. Qiu Y, He X, Zheng W, Cheng Zh, Zhang J, et al. Odor-induced saltiness enhancement of volatile compounds screened from duck stewed with chili pepper. Food Chemistry. 2025;471:142717. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142717>
56. Zhang R, Tang Ch, Jiang B, Mo X, Wang Zh. Characterization of volatile compounds profiles and identification of key volatile and odor-active compounds in 40 sweetpotato (*Ipomoea Batatas* L.) varieties. Food Chemistry: X. 2025;25:102058. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.102058>
57. Rodrigues da Silva M, Loos HM, Buettner A. Identification of odor-active compounds in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from recirculated aquaculture systems: A case study with different depuration procedures. Food Research International. 2024;192:114755. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114755>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2564>
<https://elibrary.ru/DNVTKH>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Потребительские предпочтения при выборе натурального пчелиного меда (на примере г. Симферополя)



О. Н. Гутникова*^{ORCID}, Л. Е. Павлуненко^{ORCID}

Крымский Федеральный университет имени В. И. Вернадского^{ORCID}, Симферополь, Россия

Поступила в редакцию: 26.03.2024

Принята после рецензирования: 06.05.2024

Принята к публикации: 04.06.2024

О. Н. Гутникова: vechirko15@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-2030-4178>

Л. Е. Павлуненко: <https://orcid.org/0000-0001-6769-018X>

© О. Н. Гутникова, Л. Е. Павлуненко, 2025



Аннотация.

Товарный рынок меда характеризуется разнообразием предлагаемых торговых марок и видов, а также высоким уровнем фальсификации. Определение особенностей формирования потребительской лояльности при выборе натурального меда и выявление влияния отдельных характеристик продукта на предпочтения покупателей на фоне недостаточной изученности рассматриваемых положений обусловили актуальность исследования. Цель исследования – провести оценку потребительских предпочтений, сформировавшихся на рынке натурального меда, и выявить товарные объекты, обладающие наилучшими потребительскими свойствами.

Объекты исследования – образцы натурального пчелиного меда, оценка которых проводилась с использованием цифровых технологий сбора и обработки данных, и их адаптации под формирование технологических процессов развития потребительского рынка.

Проведенный при помощи анкетирования анализ состояния российского и регионального (г. Симферополь) рынков меда позволил выявить критерии, формирующие потребительские предпочтения. Среди характеристик, оцениваемых покупателями, рассматривались цена, вкусовые свойства и торговые марки. Большинство респондентов имели опыт приобретения контрафактной продукции. Критерии выбора зависели от назначения, в том числе меда как пищевого продукта, лечебно-профилактического и косметического средства, пищевого ингредиента и пр.

Анализ свойств меда проводился по результатам оценки пяти образцов с использованием метода потребительской дегустации. В качестве лучшей торговой марки назван мед производства «Берестов А.С.». Оценка взаимосвязи характеристик продукта, проведенная при помощи метода парной корреляции, показала взаимосвязь цены и назначения продукта, что позволило обосновать факторное влияние на потребительский выбор.

По результатам исследования составлен трехмерный графический профиль конкурентоспособности исследуемых образцов, включающий потребительскую оценку конкурентных преимуществ; общую оценку органолептического профиля; привлекательность меда как сувенирной продукции. Мед крымских производителей на фоне хороших вкусовых характеристик значительно уступал конкурентам по дизайну и виду упаковки, что ограничивало потребительский спрос.

Предложенные направления формирования конкурентных преимуществ продукции крымских пчеловодов, базирующиеся на стратегии дифференциации, ориентированной на создание «уникального регионального продукта», позволят региональным производителям оптимизировать свое предложение и увеличить сбыт. Используемые методики анализа могут иметь практическое применение при формировании товарной политики в производственно-сбытовом комплексе.

Ключевые слова. Пчелиный мед, ассортимент, анкетирование, потребительские предпочтения, корреляция, дегустация, бальная оценка, качество

Для цитирования: Гутникова О. Н., Павлуненко Л. Е. Потребительские предпочтения при выборе натурального пчелиного меда (на примере г. Симферополя). Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 181–196.
<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2564>

Consumer Preferences for Natural Honey in Simferopol, Russia



Olga N. Gutnikova*^{ORCID}, Lilya E. Pavlunenko^{ORCID}

V.I. Vernadsky Crimean Federal University^{ORCID}, Simferopol, Russia

Received: 26.03.2024

Revised: 06.05.2024

Accepted: 04.06.2024

*Olga N. Gutnikova: vechirko15@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-2030-4178>

Lilya E. Pavlunenko: <https://orcid.org/0000-0001-6769-018X>

© O.N. Gutnikova, L.E. Pavlunenko, 2025



Abstract.

The honey market offers a wide variety of brands and types. However, honey is a highly counterfeited product. Yet the features that affect consumer loyalty and preferences remain understudied. The article describes consumer preferences on the Crimean natural honey market and the most attractive honey products.

The research featured five samples of natural honey. The assessment involved digital technologies for data collecting and processing adapted to the technological processes on the consumer market.

The questionnaire method made it possible to identify the criteria that shape consumer preferences on the Russian and regional honey market, e.g., price, taste, trademarks, etc. Most respondents at least once purchased counterfeit honey. The selection criteria depended on the purpose, i.e., honey as food, as a therapeutic or prophylactic additive, as a cosmetic product, as a food ingredient, etc.

Based on the consumer tasting method, the honey of the Berestov A.S. brand had the best sensory profile. The pairwise correlation method revealed a strong connection between price and purpose, which made it possible to substantiate the factor effect on consumer choice.

A three-dimensional graphical profile of competitiveness included a consumer assessment of competitive advantages, a general assessment of the sensory profile, and a souvenir potential. The Crimean samples demonstrated a good sensory profile but a poor design and packaging, which limits consumer demand.

Crimean honey could get a competitive advantage if the local honey shifted to a differentiation strategy, promoting the local honey as a unique regional product, thus optimizing the supply and increasing the sales. The strategizing methods can be applied to a wide variety of food products.

Keywords. Honey, assortment, survey, consumer preferences, correlation, tasting, scoring, quality

For citation: Gutnikova ON, Pavlunenko LE. Consumer Preferences for Natural Honey in Simferopol, Russia. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):181–196. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2564>

Введение

Пчелиный мед является продуктом частичной переработки нектара или сахаристых выделений некоторых растений медоносной пчелой. Это биологически активный продукт с хорошо выраженными бактерицидными свойствами, представляющий собой сладкое сиропообразное вещество. Его функциональные свойства и назначение зависят от химического состава, обусловленного содержанием более чем 300 химических соединений и минеральных веществ. Особая ценность пчелиного меда заключается в содержащихся в нем ферментах – катализаторах гидролитических, окислительно-восстановительных и др. процессах, происходящих в организме человека. Обладая высокой биологической и энергетической ценностью, пчелиный мед с древних времен присутствует в рационе человека, а разнообразие представленных видов позволило расширить спектр его применения: от простого

потребления в качестве пищевого продукта, до незаменимого элемента в лекарственных препаратах, средствах профилактического и защитного действия, косметических и кондитерских товарах.

Видовая принадлежность меда обусловлена цветосодержанием. При условии, что нектар был собран с цветочков одного вида, мед называют монофлерным. Если цветочковые, с которых пчелы собирали нектар, произрастали на участке в определенном разнообразии, то мед называют полифлерным. Полифлерный мед обладает более выраженными лечебными, бактерицидными и диетическими свойствами.

Производство пчелиного меда – сложный и трудоемкий процесс, формирующий значительную себестоимость конечного продукта. Товарное предложение характеризуется высоким уровнем цен, поскольку производство меда, как и большинства видов сельскохозяйственной продукции, зависит от природных

условий, а его хранение и реализация ограничены сроком годности и требуют соблюдения определенных режимов.

Практически любой мед со временем кристаллизуется. Пчеловоды отмечают, что вид нектара обуславливает форму кристаллизации: твердую, пастообразную, частичную и др. Сама по себе кристаллизация меда является первостепенным признаком его натуральности. Степень и скорость процесса кристаллизации зависят от ботанического вида продукта. Например, акациевый мед начнет кристаллизоваться не раньше, чем через год-полтора после откачки, а мед из одуванчика – уже через месяц. Майский мед, выделяющийся среди полифлерных сортов высокой физиологической ценностью, имеет в своем составе около 200 активных компонентов, быстро кристаллизуется, не теряя при этом полезных свойств.

Как показывает практика наблюдений, товарное предложение пчелиного меда на рынке характеризуется значительным количеством некачественной и фальсифицированной продукции. Основная фальсификация меда – продажа дешевого продукта, полученного из подсолнечника, рапса или горчицы (мед имеет невыразительный вкус, почти не имеет запаха и быстро кристаллизуется), как меда дорогих сортов, например, лавандового или шалфейного. Кроме того, на ярмарках можно встретить медовый продукт – взбитый крем-мед, который также получают из дешевых видов меда, добавляя в них ароматизаторы. В последнее время для подделки меда используют глюкозно-фруктозный кукурузный сироп, получая излишне сладкий и калорийный аналог естественного продукта. Распознать такие подделки можно только при микроскопическом исследовании пыльцы, присутствующей в продукте.

Большинство потребителей не осведомлено об основных характеристиках, обуславливающих натуральность и качество меда. А потребительские предпочтения чаще всего формируются под влиянием опыта потребления или доверия к торговым маркам производителей и не всегда соответствуют действительности.

Особенности формирования потребительского выбора при покупке натурального пчелиного меда, определение критериев значимости, влияющих на потребительский выбор, на данный момент изучены недостаточно. Результаты оценки рынка и потребительских предпочтений представлены в научных публикациях [1–5] и др. Актуальность настоящего исследования обусловлена недостаточной изученностью взаимосвязи отдельных характеристик продукта и выбора потребителями меда, что ограничивает разработку инструментов его продвижения на рынок и является причиной формирования низкого уровня потребительской лояльности. Исходя из актуальности исследования, его цель сведена к проведению оценки потребительских предпочтений, сформировавшихся

на рынке натурального меда, и выявлению товарных объектов, обладающих наилучшими потребительскими свойствами.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили образцы натурального пчелиного меда, оценка которых проводилась с использованием цифровых технологий сбора и обработки данных, и их адаптации под формирование технологических процессов развития потребительского рынка. Предметом исследования послужили особенности и процессы формирования потребительских предпочтений при выборе пчелиного меда. В качестве методической базы использовались методы социологического исследования, основанные на анкетировании потенциальных покупателей. Для обоснования результатов анкетирования применялся экспертный подход к оценке потребительских свойств с использованием инструментов дегустации. Обоснование результатов проведено с помощью корреляционного и регрессионного анализов.

На первом этапе исследования проводилось анкетирование посетителей гипермаркета Ашан (г. Симферополь), в том числе потенциальных покупателей пчелиного меда. Расчет доли ответов на поставленные вопросы проводился по формуле 1:

$$F_i = \frac{f_n}{f_0} \times 100 \quad (1)$$

где F_i – доли ответов, %; f_0 – общее число респондентов, принявших участие в анкетировании; f_n – число респондентов, выбравших данный ответ.

По результатам анкетирования были обобщены результаты ответов, составлен графический профиль основных характеристик потребительских предпочтений.

На втором этапе оценку взаимосвязи отдельных характеристик пчелиного меда, оказывающих влияние на потребительский выбор, проводили при помощи корреляции, позволившей установить взаимовлияние двух выбранных свойств, посредством определения коэффициента зависимости изменения характеристики (числового значения) одного из них под влиянием другого. Расчет проводился при помощи программы Excel, уровень тесноты взаимосвязи рассчитывался исходя из следующей классификации: «сильная или тесная» – при $|r_{xy}| > 0,70$; «средняя» – при $0,50 < |r_{xy}| < 0,69$; «умеренная» – при $0,30 < |r_{xy}| < 0,49$; «слабая» – при $0,20 < |r_{xy}| < 0,29$; «очень слабая» – при $|r_{xy}| < 0,19$ [6].

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - Mx)(y_i - My)}{\sqrt{\sum (x_i - Mx)^2 \sum (y_i - My)^2}} \quad (2)$$

где r_{xy} – коэффициент корреляции Пирсона; x_i – значения, принимаемые переменной x ; y_i – значения, принимаемые переменной y ; Mx – средняя по x ; My – средняя по y .

Таким образом, наличие корреляционной связи позволяет установить изменение среднего значения результативного признака под влиянием изменения факторного признака [6].

Подтверждение данных корреляции реализовано с помощью регрессии – функции, позволяющей по величине одного коррелируемого признака определить среднюю величину другого признака. Расчет линейной регрессии осуществлялся по формуле 3:

$$y_x = a + bx \quad (3)$$

где y_x – результативный показатель; a – свободный параметр уравнения, характеризующий уровень результативного признака при $x = 0$; b – коэффициент регрессии, показывающий величину изменения варьируемого признака при увеличении факторного признака на единицу; x – факторный признак.

На третьем этапе для повышения объективности оценки и определения тех конкурентных преимуществ, которые оказывают особое влияние на потребительский выбор, была проведена потребительская дегустация. В качестве объектов исследования были выбраны образцы натурального пчелиного цветочного меда разных торговых марок, приобретенные в торговой сети г. Симферополя. Потребительскую оценку исследуемых образцов проводила группа подготовленных испытателей [7] с использованием авторской балльно-рейтинговой шкалы. Подготовку образцов к испытанию проводили согласно методике, предложенной Елисеевым С. и Трапезниковой Н. [8].

Вкус меда определялся после предварительного нагревания до 30 °С в закрытом сосуде. Оценку аромата исследуемых проб проводили дважды: до и во время определения вкуса. Пробу – 40 см³, плотно закрытую в стеклянной емкости, нагревали на водяной бане до 40–45 °С в течение 10 мин, затем снимали крышку и определяли аромат. Консистенцию меда определяли по степени и скорости стекания с введенного в продукт шпателя [8].

По итогам дегустации были подсчитаны результаты балльно-рейтинговой оценки, составлен графический профиль конкурентных преимуществ.

Результаты и их обсуждение

Пчелиный мед представляет собой сладкое, сиропобразное вещество биологического происхождения. Разнообразие меда, реализуемого на товарном рынке, можно условно разделить на две группы: натуральный и искусственный. Натуральный мед по происхождению может быть цветочным, смешанным и падевым. Падевый мед пчелы вырабатывают, собирая падь (сладкие выделения тли и некоторых других насекомых) и медвяную росу (сахаристый сок) с листьев или стеблей растений.

Вид меда характеризуется его органолептическими свойствами, такими как цвет, вкус, аромат. Перво-

степенным признаком натуральности продукта является характер его кристаллизации. Форму кристаллизации (твердую, пастообразную, частичную и др.), по утверждению пчеловодов, обуславливает вид нектара. Названные признаки традиционно выступают в качестве основных критериев классификации ассортимента пчелиного меда.

На рисунке 1 представлена классификация натурального меда.

В основу предложенной классификации положено ботаническое и географическое происхождение меда, способ производства, внешние характеристики (консистенция, цвет), а также запах и вкус. Поскольку получить монофлерный мед практически невозможно, его ботаническая принадлежность определяется по виду основного цветоноса, нектар которого преобладает в продукте [11].

Состав меда разнообразен. Основными веществами являются углеводы, которые представлены на 36–40 % фруктозой, на 32–35 % глюкозой и на 2–3 % ди-, три-, олигосахаридами. Глюкоза и фруктоза легко усваиваются организмом человека, поэтому и являются ценным энергетическим материалом (1289 кДж на 100 г меда). Кроме того, моносахариды и их производные участвуют в построении биологических структур и выполняют пластическую функцию. В продукте содержится более 15 ферментов, выступающих катализаторами гидролитических, окислительно-восстановительных и других процессов, происходящих в организме человека. В составе меда до 0,43 % преимущественно органических кислот, в числе которых винная, глутаминовая, щавелевая, муравьиная, уксусная и др. Пищевую ценность продукта также формируют минеральные вещества (макро-, микро-, и ультрамикроэлементы – всего 0,03–0,2 %): калий, кобальт, никель, серебро, молибден, свинец, титан и др., а также витамины, содержание которых невелико (0,04 мкг–2 мг на 100 г меда), но в сочетании с другими важными для организма веществами их активность существенно повышается [12].

Среди видов монофлерного меда можно выделить акациевый, лавандовый, гречишный, липовый, шалфейный, кориандровый. Полифлерный мед, представленный на крымском рынке, характеризуется еще большим видовым разнообразием. В торговой сети можно встретить следующие его виды: разнотравье, майский, цветочный померанцево-каштановый, цитрусовый, цветочный полифлерный кленовый, цветочный с пчелиным маточным молоком, лесной, таежный, цветочный фацелиевый и др. (рис. 2).

Наиболее широко на товарном рынке представлен мед цветочный, акациевый и гречишный. Отмечено наличие редких видов, таких как лавандовый, шалфейный, земляничный и пр.

Наибольший удельный вес в ассортименте приходится на полифлерный мед. Его доля составляет 46,58 %. Доля монофлерного меда меньше – 43,68 %. Менее всего в ассортименте смешанного меда (9,7 %).



Рисунок 1. Классификация натурального пчелиного меда (составлено авторами на основе ГОСТ 19792-2017 и [9–10])

Figure 1. Classification of natural honey based on State Standard GOST 19792-2017 and [9–10]

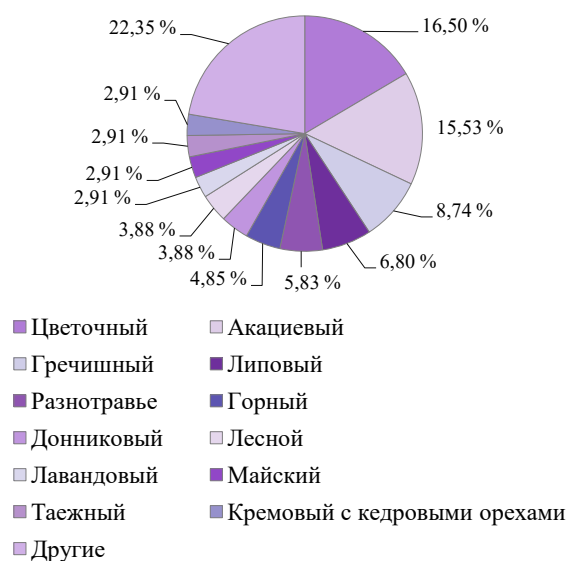


Рисунок 2. Структура ассортимента натурального пчелиного меда, представленного на товарном рынке г. Симферополя

Figure 2. Varieties of natural honey on the market of Simferopol, Russia

Предложение на российском рынке меда обеспечивают около 150 крупных производителей, при этом 94 % продукции производится мелкими формами хозяйствования. Лидерами по производству меда в РФ уже

не один десяток лет являются Алтайский и Краснодарский края, Башкортостан, Татарстан.

По данным официальной статистики, в 2022 г. пчеловоды получили около 70 тыс. т продукта. В 2023 г. этот показатель снизился на 7 %, составив 65 тыс. т. Экспорт в этот период показал положительные результаты, к началу 2023 г. его объем вырос на 28 %, достигнув размера в 3,8 тыс. т. Лидером по экспорту меда в 2023 г. остался Башкортостан. Он поставил более 111 т продукции в семь стран мира. К 2024 г. ситуация на рынке меда продолжила ухудшаться. Объем производства продукта снизился до 64 тыс. т, что на 1 % меньше показателя 2023 г., согласно данным Росстата, Ассоциации пчеловодов и апитотерапевтов Крыма и агентства по сопровождению программ государственной поддержки агропромышленного комплекса.

Рынок меда России характеризуется полной обеспеченностью продукцией российских производителей. Среднестатистический россиянин потребляет около 0,5 кг меда в год. Практически весь потребляемый мед производится внутри страны. Объем импорта составляет менее 1 % потребления.

На товарном рынке Республики Крым, согласно Ассоциации пчеловодов и апитотерапевтов Крыма, в рамках которого проводилось исследование, региональная продукция представлена слабо, в торговой сети количество местной продукции не превышает 10 %. По данным Министерства сельского хозяйства

республики Крым, в настоящее время в Крыму функционирует только три крупных пчеловодства: «Крым-пчелопром» в Симферополе, агропромышленная фирма «Крымпчелопродукт XXI столетия» в Сакском районе и «Крымский пчелокомплекс» в Раздольненском районе. При этом 97 % меда производится в личных подсобных хозяйствах и на сравнительно небольших фермах. Крупным крымским производителем натурального меда в регионе является пчелоферма Ключко Н. Д. (ТМ «Крымский мед») в Симферопольском районе. Также в торговой сети региона можно встретить продукцию ТМ «Крым медовый», выпускаемую крестьянским фермерским хозяйством (Белогорский район, с. Земляничное), ТМ «Медовый дом» (Севастопольский район), ТМ «Ялта мед» (г. Ялта), ТМ «Виноградовъ» производства крестьянских фермерских хозяйств Виноградовых (г. Севастополь), продукцию пасек Марковых, Терентьевых, Подаковых и др.

1589 пчеловодческих хозяйств разных организационно правовых форм официально зарегистрировано в регионе, из них крестьянские фермерские хозяйства составляют 5,4 %, индивидуальные предприниматели – 8,3 %, физические лица – 2,7 %, личные подсобные хозяйства – 82,1 % и сельскохозяйственные объединения 1,5 %.

В структуре ассортимента, представленного на региональном рынке, определяются два явных лидера – ТМ «Берестов А.С.» и ТМ «Медовая компания». Продукция ТМ «Медовая компания» при этом выявлена авторами преимущественно в крупных торговых форматах, тогда как мед ТМ «Берестов А.С.» присутствует в ассортименте практически всех торговых предприятий, подвергнутых анализу.

Оценка потребительских предпочтений при выборе натурального меда была проведена при помощи метода социологического исследования, инструментом которого стала разработанная авторами анкета, включающая как закрытые, так и открытые вопросы. Цель анкетирования заключалась в определении вида меда, пользующегося наибольшим потребительским спросом; установлении торговых марок, известных крымским покупателям; обосновании показателей, формирующих конкурентные преимущества натурального меда.

В социологическом исследовании, проходившем в течение двух недель в гипермаркете Ашан (г. Симферополь), приняли участие 320 человек, купивших мед. Результаты проведенного анкетирования представлены на рисунке 3.

По результатам проведенного анкетирования, сделаны следующие выводы:

- основными потребителями натурального меда являются женщины (76,3 %); средний возраст покупателей – старше 21 года;
- наиболее популярными видами меда являются: акациевый (21,6 %), липовый (17,8 %) и цветочный (16,3 %);
- выбор меда основывается на цене – 23,1 %, на вкусовых свойствах – 21,9 %, на торговой марке – 14,4 %;

– самыми популярными торговыми марками меда, по мнению респондентов, стали ТМ «Берестов А.С.» (ООО «Частные пасеки Берестова», Алтайский край) – 25,6 %, ТМ «Крым медовый» (ООО «Медовый Крым») – 23,4 %, ТМ «Медовая долина» (ООО «Медовая долина», Московская обл.) – 16,9 %;

– в торговых сетях наиболее часто предпочитают приобретать мед 17,5 % опрошенных; продукции, реализуемой на рынке, предпочтение отдают 24,1 %; непосредственно у пчеловодов мед покупают 19,4 %. Многие покупают мед спонтанно, причем покупку в торговых сетях совершают в тех случаях, когда не работают рынки, или в торговом предприятии проводятся акции; – 35,6 % покупателей приобретают натуральный мед для изготовления кулинарных изделий (выпечка, десерты и др.); для непосредственного потребления (в качестве продукта питания) совершают покупку 20,6 % респондентов; для использования в качестве профилактического средства – 22,5 %;

– большинство покупателей – 42,5 % приобретает мед достаточно редко, всего несколько раз в год; каждую неделю приобретают продукт только 4,7 % покупателей; – 75,6 % респондентов отметили, что предпочли бы покупать крымский мед, при этом только 66,3 % считают его конкурентоспособным на рынке;

– в качестве основного критерия, формирующего конкурентные преимущества крымского меда, 19,1 % анкетированных назвали низкую цену; 15,6 % – широкий ассортимент; 14,7 % – качественные характеристики продукта.

По итогам анкетирования, проводимого с целью определения потребительских предпочтений при выборе натурального меда, авторами было отмечено, что большинство опрошенных предпочитают покупать продукцию вне стационарной торговой сети, преимущественно на рынках или непосредственно у пчеловодов. Основная причина – недоверие к продавцам меда. 91,3 % опрошенных сталкивались с фактами покупки фальсифицированного меда, поэтому предпочитают покупать его в проверенных местах.

В ходе исследования установлена определенная взаимосвязь между выбором вида меда, его назначением и критерием выбора. Так, покупатели, приобретающие цветочный мед для кулинарных целей, как правило, в качестве критерия выбора указывали цену продукта, выделяя торговые марки, которые находятся в среднем и низком ценовом сегменте – ТМ «Каждый день» (гипермаркет Ашан), ТМ «Потопыч» (ООО «Теплодом», Московская обл.). Самый дешевый цветочный мед отмечен в гипермаркете Ашан – ТМ «Каждый день» по цене 287 руб. за 1 кг. Аналогичный мед степное разнотравье крымских производителей ТМ «Крымский мед» продается по цене 514 руб. за 1 кг продукта. Самой дорогой является продукция ТМ «Берестов А.С.», например, цветочный полифлерный мед «Таволга» ТМ «Берестов А.С.» продается по цене 1232 руб. за 1 кг; а мед

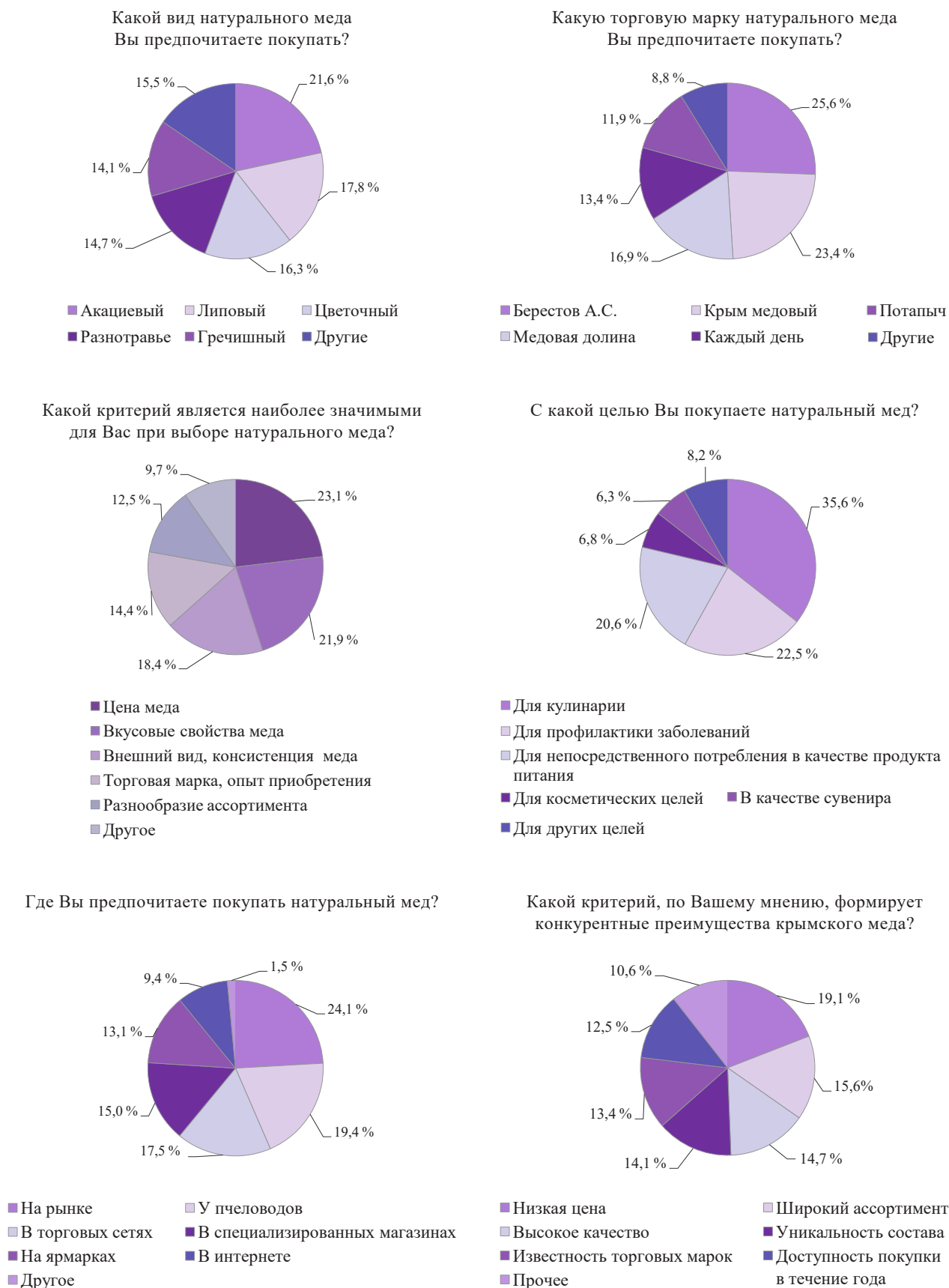


Рисунок 3. Результаты анкетирования покупателей натурального пчелиного меда (г. Симферополь)

Figure 3. Survey results: consumers of natural honey in Simferopol, Russia

с пчелиным маточным молоком – 1626 руб. за 1 кг. Самый дорогой среди крымских производителей – мед ТМ «Крым медовый», реализующая горный мед по цене 1050 руб. за 1 кг.

Для характеристики взаимосвязи показателей, влияющих на выбор покупателей, использовали метод корреляции, позволивший при помощи программы Excel установить ее количественные значения – коэффициенты взаимосвязи. На первом этапе была установлена взаимосвязь показателей цены за 100 г продукта и количества покупателей, выбравших торговую марку. Полученные данные приведены в таблице 1.

Из 320 покупателей, принявших участие в анкетировании, ТМ «Берестов А.С.» (стоимость 100 г продукта составила 140 руб.) выбрали 82 человека. Использование метода корреляции позволило сделать заклю-

чение о том, что в рассматриваемом случае цена продукта полностью определяет покупательский выбор. Коэффициент (–0,63) свидетельствует о том, что покупатели, выбор которых определялся ценой, в анкете отмечали самые дешевые торговые марки меда и наоборот.

Покупатели, для которых приоритетными являются вкус, широта ассортимента и известность торговой марки, выбирали продукты, реализуемые по более высокой цене. Так, взаимосвязь по критериям: «цена производителя» – «вкус» характеризуется коэффициентом – (0,57); «цена производителя» – «торговая марка» – (0,59); «цена производителя» – «ассортимент» – (0,54). На выбор торговой марки производителя меда по цене не влияет внешний вид продукта.

По аналогии была установлена взаимосвязь между назначением приобретаемого меда и его ценой (табл. 2).

Таблица 1. Взаимосвязь предпочтений в выборе торговой марки и цены за 100 г продукта

Table 1. Brand preferences vs. price per 100 g

Производитель	Средняя цена за 100 г, руб.	Цена	Вкус	Внешний вид	Торговая марка	Ассортимент	Прочее	Итого по торговой марке
Берестов А.С.	140	1	26	14	16	17	8	82
Крым медовый	90	2	20	16	15	12	10	75
Медовая долина	76	15	12	15	3	5	4	54
Каждый день	42	32	1	3	1	2	4	43
Потапыч	52	20	3	8	1	3	3	38
Правильный мед	68	1	1	1	1	0	2	6
Медовый дом	79	1	1	1	4	0	0	7
Золотая птица	131	1	2	1	2	1	0	7
Нору Мору	80	0	2	0	2	0	0	4
Пчельник	74	1	2	0	1	0	0	4
Итого по критерию		74	70	59	46	40	31	320
Коэффициент корреляции		–0,633649753	0,565895651	0,241463172	0,593538114	0,538318251	0,207557619	–

Таблица 2. Взаимосвязь между назначением натурального меда и ценой

Table 2. Correlation between purpose and price

Производитель	Средняя цена за 100 г, руб.	Для кулинарии	Для профилактики заболеваний	Для потребления в качестве продукта	Для косметических целей	В качестве сувенира	Для других целей	Итого по торговой марке
Берестов А.С.	140	8	32	31	7	4	0	82
Крым медовый	90	11	20	17	10	13	4	75
Медовая долина	76	26	11	8	1	1	7	54
Каждый день	42	32	1	0	1	0	9	43
Потапыч	52	25	6	1	0	0	6	38
Правильный мед	68	5	1	0	0	0	0	6
Медовый дом	79	4	0	2	1	0	0	7
Золотая птица	131	0	1	2	2	2	0	7
Нору Мору	80	0	0	4	0	0	0	4
Пчельник	74	3	0	1	0	0	0	4
Итого по критерию		114	72	66	22	20	26	320
Коэффициент корреляции		–0,56927157	0,553739891	0,66344353	0,527990269	0,355215112	–0,585151458	–

Чем выше цена продукта, тем меньше покупателей выбирают его для кулинарных целей. Коэффициент взаимосвязи названных показателей составил – 0,56. Дорогой мед берут преимущественно для потребления в качестве основного продукта (коэффициент взаимосвязи – 0,66). Коэффициенты, характеризующие взаимосвязь цены с назначением для меда, приобретаемого для профилактических и косметических целей, составили 0,55 и 0,53, соответственно.

Таким образом, на выбор продукта ТМ «Крымский мед» влияет, с одной стороны, средняя цена, с другой – вкус и известность торговой марки. Его приобретают для различных целей: пищевых, кулинарных, профилактических, косметических, а также в качестве сувенирной продукции.

При помощи программы Excel методом парных сравнений провели оценку потребительских предпочтений на примере торговых марок меда, отмеченных покупателями (табл. 3).

На основании представленных данных таблицы 3 можно утверждать, что при покупке меда кулинарного назначения особую роль играют цена и ассортимент; для меда как отдельного продукта питания – вкус; при выборе продукта для профилактики заболеваний – торговая марка, вкус и цена; покупая мед как сувенирную продукцию, покупатели ориентируются на внешний вид и торговую марку.

Для подтверждения объективности полученных результатов был рассчитан общий коэффициент зависимости показателей, составивший 0,90. Приведенное значение показателя свидетельствует о качестве составленной модели и высокой достоверности полученных

результатов. Регрессия так же подтвердила высокий уровень качества модели (табл. 4), выявив явную закономерность повышения одного показателя от снижения уровня другого.

Полученные результаты позволили сделать заключение о том, что основным фактором, влияющим на потребительский выбор при покупке натурального меда, можно считать его назначение, определяющее выбор продукции разных ценовых сегментов и торговых марок.

Социологическое исследование конкурентных преимуществ натурального меда, сформированных его потребительскими свойствами, основывается на анализе цены, представленности в торговой сети и вкусовых характеристиках [13]. В качестве инструмента опроса использовали оценочный лист. Образцы меда оценивались по 5-балльной шкале, в соответствии с критериями: 5 баллов – отлично; 4 балла – достаточно хорошо; 3 балла – относительно хорошо; 2 балла – удовлетворительно; 1 балл – ниже удовлетворительного; 0 баллов – неудовлетворительно (табл. 5).

Профиль продукта, учитывающий значимость свойств, формировался с учетом весомости каждой характеристики при принятии респондентом решения о покупке: цена (коэффициент значимости – 0,25), вкусовые свойства (0,25), внешний вид, в том числе консистенция и цвет (0,20), ассортиментная линейка (0,15), известность торговой марки (0,10) и доступность покупки в торговой сети (0,05).

Наибольшее количество баллов по оцениваемым показателям получил образец меда ТМ «Берестов А.С.» – 28 баллов (4,5 – с учетом коэффициентов значимости).

Таблица 3. Результаты парного сравнения показателей, характеризующих потребительский выбор при покупке натурального меда

Table 3. Pairwise comparison of consumer choice indicators

Показатель	Цена	Вкус	Внешний вид	Торговая марка	Ассортимент	Прочее	Итого
Для кулинарии	48	10	17	12	25	2	114
Для профилактики заболеваний	14	11	10	20	6	11	72
Для потребления в качестве продукта	6	41	6	4	7	2	66
Для косметических целей	5	0	12	4	1	0	22
В качестве сувенира	5	1	8	5	1	0	20
Для других целей	1	7	6	1	0	11	26
Итого	79	70	59	46	40	26	320
Результат парного сравнения							
Для кулинарии	0,61	0,14	0,29	0,26	0,63	0,08	–
Для профилактики заболеваний	0,18	0,16	0,17	0,43	0,15	0,42	–
Для потребления в качестве продукта	0,08	0,59	0,10	0,09	0,18	0,08	–
Для косметических целей	0,06	0,00	0,20	0,09	0,03	0,00	–
В качестве сувенира	0,06	0,01	0,14	0,11	0,03	0,00	–
Для других целей	0,01	0,10	0,10	0,02	0,00	0,42	–

Примечание: Коэффициент корреляции, подтверждающий установленную взаимосвязь – 0,908519732.

Note: Correlation coefficient – 0.908519732.

Его ассортимент характеризуется самой широкой ассортиментной линейкой и представленностью в торговой сети.

Крымский мед так же получил достаточно высокую оценку – 25 баллов. Продукт определен как мед с отличными вкусовыми характеристиками и известностью торговой марки в регионе. Наименьше количество баллов получил мед ТМ «Каждый день» и ТМ «Потапыч». Следует отметить, что продукция ТМ «Каждый день» имеет невысокие вкусовые характеристики и слабую представленность в торговой сети (реализуется только в гипермаркете Ашан).

На основании таблицы 1, составлен многоугольник конкурентоспособности (рис. 4).

Каждый из показателей получил максимальную оценку при оценивании меда разных торговых марок. Например, оптимальной ценой характеризуются ТМ «Каждый день» и ТМ «Потапыч»; лучшим вкусом – ТМ «Берестов А.С.» и ТМ «Крым медовый». Самыми известными для покупателей гипермаркета Ашан являются ТМ «Каждый день» (фирменная линейка продуктов торгового предприятия), ТМ «Крым медовый» (крымский производитель) и ТМ «Берестов А.С.» (реализуемая практически во всех исследованных торговых предприятиях различных форматов).

Для итоговой оценки свойств натурального меда разработана авторская шкала, составленная с учетом коэффициентов значимости оцениваемых показателей: – 4,50–5,00 баллов – высокие конкурентные преимущества; – 4,00–4,45 – хорошие конкурентные преимущества; – 3,50–3,95 – достаточные конкурентные преимущества; – 3,00–3,45 – удовлетворительные конкурентные преимущества; – менее 3,00 баллов – продукт неконкурентоспособен.



Рисунок 4. Многоугольник конкурентоспособности торговых марок цветочного меда, предпочитаемых для покупки в торговой сети

Figure 4. Polygon of competitiveness for different floral honey brands in retail shops

В соответствии с предложенной шкалой, можно сделать вывод о том, что ТМ «Берестов А.С.» имеет самые высокие потребительские свойства, а следовательно, и конкурентные преимущества, тогда как ТМ «Крым медовый» – только хорошие. Продуктами с удовлетворительным уровнем потребительских свойств определены ТМ «Каждый день» и ТМ «Потапыч».

Приоритетными критериями, которые формируют конкурентоспособность крымского меда за счет потребительских характеристик, стала известность торговой марки и высокие вкусовые свойства. Повысить конкурентоспособность, по мнению авторов, можно, в том числе, за счет расширения ассортиментной линейки, выпускаемой предприятием-производителем, и ростом его представленности в торговой сети города, состоящей из предприятий различных форматов.

Отмечена особая значимость влияния на потребительский выбор дизайна упаковки, привлекательности этикеток, а также информативности маркировки. Учитывая тот факт, что крымский мед может рассматриваться как сувенирная или подарочная продукция, мы сочли целесообразным оценивать названные критерии отдельно. Оценка упаковки с позиции ее привлекательности проводилась фокус-группой, сформированной после дегустации образцов продукции (табл. 6).

Наиболее информативной и красочной признана упаковка меда ТМ «Берестов А.С.». Стоит обратить внимание на то, что маркировка продукции названной торговой марки содержит QR-код, с помощью которого можно получить дополнительную информацию о производителе, месте сбора меда, его индивидуальных характеристиках. Упаковка крымского меда и ее информативность получили низкие оценки, поскольку производитель использует лишь два вида расфасовки (500 и 1000 г), и этикетка содержит только общую информацию, предусмотренную нормативным документом, без акцента на уникальность продукта, определенную региональными климатическими и географическими условиями. Помимо этого, потребительская тара не соответствует общепринятому представлению об упаковке сувенирной продукции, которая, как правило, служит напоминанием о регионе ее приобретения.

На основании приведенного графика можно сделать заключение о недостатках упаковки (дизайн, художественное оформление), а также недостаточной информативности маркировки крымской продукции, реализуемой на региональном рынке меда, что препятствует росту спроса на мед в категории «сувенирная продукция». Следовательно, обладая хорошими вкусовыми свойствами и известностью, ТМ «Крым медовый» может повысить свои конкурентные преимущества за счет расширения ассортимента, представленного в региональной торговой сети, улучшения внешних характеристик упаковки, повышения ее информативности и привлекательности.

Для формирования конкурентного преимущества продукции крымским производителям целесообразно

Таблица 6. Отдельные критерии конкурентоспособности образцов меда с позиции привлекательности упаковки

Table 6. Packaging attractiveness: individual criteria for competitiveness

Торговая марка	Показатель, балл					Итого баллов
	Вид упаковки	Разнообразие расфасовки	Художественная выразительность этикетки	Информативность этикетки, доступность	Наличие данных, характеризующих регион	
Берестов А.С.	5	3	5	5	5	23
Крым медовый	5	3	2	2	3	15
Медовая долина	5	3	4	4	3	19
Каждый день	2	4	3	3	1	13
Потапыч	2	4	4	4	4	18

Примечание: Составлено авторами на основе [14].

Note: Compiled by the authors based on [14].

применить стратегию дифференциации, сделав акцент на создании уникального продукта. Эта концепция может быть реализована по следующим направлениям.

Во-первых, через продуктовую дифференциацию, формируемую пищевой ценностью продукта. Расширение ассортиментной линейки местной продукции с указанием функционального назначения отдельных видов меда, определяемых свойствами медоносов, в том числе крымских культур-эндемиков. Особое внимание при этом следует уделить системе сбыта. Организация производственно-сбытовых цепочек позволит объединить разрозненные элементы макроструктуры рынка меда в единую систему и обеспечит быстрое доведение продукта до конечного потребителя [15].

Во-вторых, через имиджевую дифференциацию, выделив среди потребителей сегмент увлеченных концепцией ЗОЖ, принимающих лечебные и оздоровительные свойства меда и ориентированных на более высокое качество жизни.

В-третьих, через дизайн и конструктивные особенности упаковки, а также типоразмеры используемой потребительской тары (расфасовку). Так, исследования российского рынка меда позволили констатировать, что потребители отдают предпочтение более экологически чистой стеклянной (43,4 %) и деревянной (31,3 %) упаковке, объемом 500 г (32,25 %). Сторонников полимерной потребительской тары – 18,8 %. Упаковку объемом 100 г предпочитают 9,7 % респондентов [14]. При этом продавцы специализированных магазинов («Чай», «Кофе») и кондитерских отмечают интерес покупателей к расфасовке 25–50 г. Повысить привлекательность и сформировать направленность продукции на туристический сегмент покупателей можно за счет использования в оформлении потребительской упаковки изображений видов медоносных растений (а в отдельных случаях и сухоцветов в специальной полимерной экспозиционной мини-упаковке, например, шалфея, розы, липы, белой акации и др.).

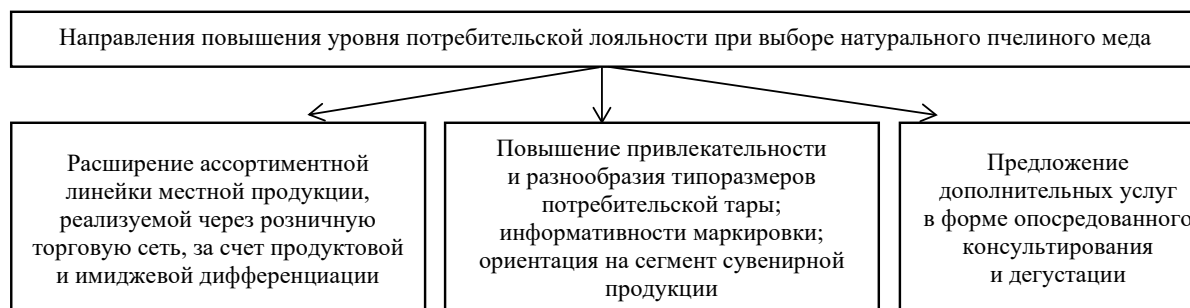
В-четвертых, через предложение дополнительных услуг, к которым можно отнести опосредованное консультирование (в форме указания географического

места происхождения меда (с указанием его на карте региона); развернутой характеристики состава с акцентом на свойствах; показаний к применению и противопоказаний, изложенных на листе-вкладыше, оформленном в виде книжечки) и дегустацию, в которых нуждается большинство покупателей, приобретающих новый продукт. Партию продукции необходимо комплектовать «пробниками», массой 5–10 г для возможности осуществления дегустации. Аналогичный метод используют производители косметической, а также чайной и кофейной продукции для ее популяризации.

Направления повышения конкурентоспособности продукции крымских пчеловодов за счет формирования потребительской лояльности в обобщенном виде представлены на рисунке 5.

Цель рекомендаций, направленных на повышение уровня потребительской лояльности к продукции крымских пчеловодов, заключается в формировании ее конкурентоспособности [17]. Крымский мед является продукцией многофункционального назначения, расширение ассортиментной линейки которой обеспечивается, в том числе, разнообразием потребительской тары и расфасовки, характеризуемой высоким уровнем информационного обеспечения, а также возможностью осуществления выбора на основе собственных вкусовых ощущений, формируемых в результате дегустации.

Особое значение для потребителя меда имеет разнообразие ассортимента. Как показало исследование, основным назначением приобретаемого меда является использование его в кулинарных и лечебных целях, а также потребление в качестве основного продукта питания. В последнем случае видовое разнообразие имеет особое значение, т. к. мед характеризуется разными, иногда уникальными и неповторимыми, вкусовыми свойствами в зависимости от биологического вида нектара основного цветоноса. Исходя из этого, определяют наиболее ценные сорта меда, представленность которых в ассортименте крымских пчеловодов может сформировать особое конкурентное преимущество. Для определения возможностей разнообразить торговый ассортимент уникальными



Примечание: Составлено авторами на основе данных агентства стратегического маркетинга Маркетеру.Ру. и [14, 16].

Рисунок 5. Направления повышения конкурентоспособности крымского меда

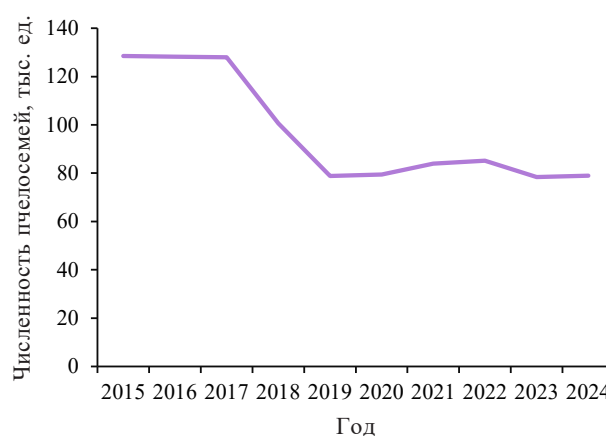
Figure 5. Strategies to increase the competitiveness of Crimean honey

сортами, мы обратились к сайту Ассоциации пчеловодов и апитотерапевтов Крыма и установили те виды меда, которые отсутствуют в продаже, но собираются крымскими пчеловодами:

- люцерновый мед – крымский крафтовый натуральный цветочный мед от КХ «Виноградовы»;
- боярышниковый мед – крафтовый монофлерный мед от ТМ «Крым медовый»;
- шалфейный мед – крафтовый мед от ТМ «Крымский мед».

Так же среди ассортимента натурального меда отмечены интересные купажи и медовые продукты, такие как мед донниковый с курагой, мед акациевый с грецкими орехами, взбитый мед с малиной и др. Особый интерес вызывают цветочные разновидности меда – разнотравья с географической привязкой к районам полуострова: Белогорский и Бахчисарайский.

Влияние на возможность осуществления формирования конкурентных преимуществ для крымских пчеловодов оказывает региональный ресурсный потенциал. Согласно статистике, до 2019 г. отмечалось снижение количества медоносных пчел в регионе. Основная причина – введение химикатов в удобрения, используемые в сельском хозяйстве. Для предотвращения полного исчезновения пчел, согласно Ассоциации пчеловодов и апитотерапевтов Крыма, в регионе пчеловоды вынуждены ежегодно вкладывать значительные средства в покупку новых семей пчел и поддержку необходимой численности роя. Этот факт делает пчеловодство сильно затратной и низкорентабельной отраслью, что негативно сказывается на конкурентоспособности местной продукции. Для стабилизации сокращения численности медоносных пчел и повышения эффективности отрасли пчеловодства с 2019 г. был введен региональный проект «Создание системы поддержки фермеров и развитие сельской кооперации», позволивший пчеловодам получить хоть и небольшие, но компенсации потерь, вызванных падежем пчел. В ходе реализации программы с 2019 по 2022 г. пчеловоды получили 19,5 млн государственных субсидий (в рамках федерального проекта Создание системы



Примечание: Составлено авторами на основе данных Министерства сельского хозяйства Республики Крым, аналитической компании BusinesStat и [18].

Рисунок 6. Динамика изменения численности пчелосемей в Республике Крым

Figure 6. Bee colonies in the Crimea

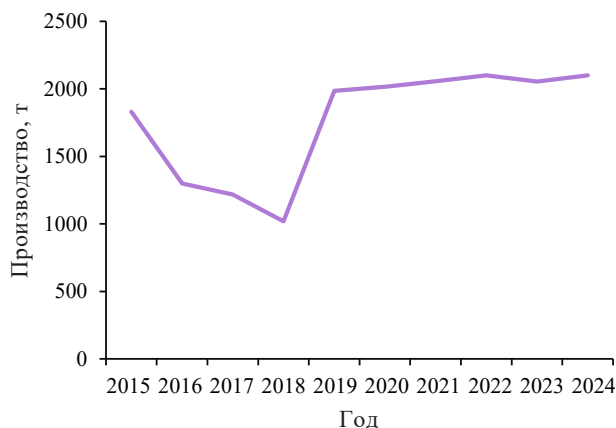
поддержки фермеров и развитие сельской кооперации), что положительно отразилось на ресурсном потенциале отрасли, выраженном в стабилизации падения численности пчелосемей (рис. 6).

Проводимая за счет субсидирования пчеловодов программа государственной поддержки к 2024 г. позволила нормализовать сокращение численности пчелосемей в регионе. В результате регион показал хороший прирост производства натурального меда (рис. 7).

Очевидно, что в 2024 г. объем произведенного в регионе натурального пчелиного меда превысил показатели 2015 г., что свидетельствует о наличии хорошего ресурсного потенциала, необходимого для повышения конкурентоспособности крымского меда.

Выводы

Классификация натурального пчелиного меда произведена с учетом его ботанического и географического происхождения, товарного вида, определяемого



Примечание: Составлено авторами на основе данных Министерства сельского хозяйства Республики Крым, аналитической компании BusinesStat и [18].

Рисунок 7. Динамика изменения объемов производства пчелиного натурального меда в Республике Крым

Figure 7. Production volumes of natural honey in the Crimea

методом производства, и органолептических характеристик готового продукта, оцениваемых методом дегустации. Товарное предложение, сформированное на региональном рынке пчелиного меда, преимущественно ориентировано на привозную продукцию: цветочный, акациевый, гречишный и липовый мед. Ассортимент меда, представленный в торговой сети, характеризуется значительным разнообразием. Доля крымского меда не превышает 15 %. При этом региональный продукт реализуется преимущественно через нестационарные торговые объекты, среди которых преобладают рынки, ярмарки, выставки, Интернет-магазины. В стационарной торговой сети преобладает привозная продукция. В ряду крымских торговых марок отмечены ТМ «Крымский мед», ТМ «Медовый Крым», ТМ «Медовый дом». В рамках рынка представлена продукция множества небольших частных пасек. Видовое разнообразие крымского меда ориентировано преимущественно на цветочные полифлерные сборы, при этом имеют место редкие виды продукта, такие как лавандовый, шалфейный, земляничный и пр.

В результате определили закономерность, согласно которой, в анкетах покупатели выбирали вид меда и его назначение, в соответствии с указанным критерием выбора. Так, покупатели, приобретающие цветочный мед для кулинарных целей, как правило, в качестве критерия выбора указывали цену, при этом определялись такие ТМ, как «Каждый день» и «Потапыч», находящиеся в среднем и низком ценовом сегменте. При выборе продукта для лечебно-профилактических целей приоритетное значение имела известность торговой марки, обусловленная доверием потребителя. Самыми важными критериями выбора меда, потребляемого в качестве основного продукта, выступили его вкус, запах, консистенция и пр.

В качестве показателей, способствующих формированию лояльности покупателей натурального пчелиного меда, определены его органолептические характеристики – внешний вид (консистенция) и вкус продукта. Проведенное исследование показало, что более дорогие образцы меда отличаются высоким уровнем вкусовых характеристик и других органолептических показателей. При этом образцы с более дешевой ценой отмечены как продукты с невысокими вкусовыми характеристиками.

Повышение конкурентоспособности продукции крымских производителей натурального меда, по мнению авторов, может быть достигнуто за счет использования продуктовой и имиджевой составляющей формирования ассортимента, его ориентации на сегмент сувенирной продукции; совершенствования дизайна и разнообразия типоразмеров потребительской тары; использования инноваций (экспозиция цветоноса, предпродажная дегустация) для формирования привлекательности продукта.

Обоснованием перспектив для повышения уровня конкурентоспособности крымского меда стал анализ ресурсного потенциала, согласно которому к концу 2024 г. в регионе стабилизировалось сокращение пчелосемей, наметилась положительная динамика, чему способствовала реализация ряда государственных программ поддержки пчеловодов: субсидия на возмещение части затрат на развитие пчеловодства, господдержка ряда агропромышленных направлений, в том числе животноводства и малых форм хозяйствования, государственная компенсация затрат на строительство / модернизацию объектов агропромышленного комплекса.

Критерии авторства

О. Н. Гутникова руководила исследованием, предложила методику проведения анкетирования, сформировала алгоритм проведения эксперимента, провела расчеты по результатам социологического исследования. Л. Е. Павлуненко осуществляла подбор источников исследования, проводила анкетирование покупателей и дегустацию объектов исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

O.N. Gutnikova supervised the research, developed the survey methodology, designed the research algorithm, and calculated the survey results. L.E. Pavlunenko wrote the review, conducted the survey, and organized the sensory assessment.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Смоленцева Е. В. Российский рынок меда в региональном аспекте. Московский экономический журнал. 2019. № 5. С. 177–185. [Smolentceva EV. Russian honey market in the regional aspect. Moscow Economic Journal. 2019;(5):177–185. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-15020>
2. Козыайчев Ю. В. Составление портрета потребителей меда в центральном федеральном округе как фактор успешного развития частных пчеловодческих хозяйств в концептуальной системе маркетинга отношений. Инновации и инвестиции. 2022. № 10. С. 235–239. [Kozyaychev YuV. Compiling a portrait of honey consumers in the central federal district as a factor of successful development of private beekeeping farms in the conceptual system of relationship marketing. Innovation & Investment. 2022;(10):235–239. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/MODZUM>
3. Мижевикин Д. А., Еремина Ю. А., Мижевикина А. С. Потребительские предпочтения меда натурального. Научный электронный архив. [Mizhevikin DA, Eremina YuA, Mizhevikina AS. Consumer preferences for natural honey. Scientific Digital Archive. (In Russ.)] Available from: <http://econfr.rae.ru/article/10342>
4. Роздольская И. В., Гришкова Н. С., Яковлева Л. Р. Маркетинговые исследования покупательского предпочтения на мед на примере рынка меда Белгородской области. Фундаментальные исследования. 2015. № 7–1. С. 193–201. [Rozdolskaya IV, Grishkova NS, Yakovleva LR. Marketing study of honey buyers' preferences (the Belgorod oblast honey market as a case study). Fundamental research. 2015;(7–1):193–201. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/UDXTZT>
5. Алиева А. К., Коротышева Л. Б., Прокопенко С. Т. Оценка потребительских свойств меда пчелиного, представленного в розничной торговой сети Санкт-Петербурга. Техничко-технологические проблемы сервиса. 2013. № 2. С. 30–33. [Alieva AK, Korotisheva LB, Prokopenko ST. Assessment of consumer properties of honey bee presented at retail St. Petersburg. Technical and technological issues in the sphere of service. 2013;(2):30–33. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/QJEUDR>
6. Баврина А. П., Борисов И. Б. Современные правила применения корреляционного анализа. Медицинский альманах. 2021. № 3. С. 70–79. [Bavrina AP, Borisov IB. Modern rules of the application of correlation analysis. Medical Almanac. 2021;(3):70–79. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TPSSIX>
7. Гутникова О. Н., Павлуненко Л. Е. Дегустация продукции как инструментарий органолептического анализа в системе управления качеством торговых услуг. Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 6. С. 68–78. [Gutnikova ON, Pavlunenko LE. Product tasting as a tool of organoleptic analysis in the quality management system of trading services. Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2021;(6):68–78. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/NPDBAR>
8. Елисеев С. Л., Трапезникова Н. Н. Определение качества меда. Контроль качества продукции. 2019. № 12. С. 35–38. [Eliseev SL, Trapeznikova NN. Determining the quality of honey. Production quality control. 2019;(12):35–38. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/GJFVTX>
9. Федоринова М. Е. Сравнительная характеристика меда из различных климатических зон. Вестник науки. 2021. Т. 1. № 2. С. 189–195. [Fedorinova ME. Comparative characteristics honey from different climate zones. Science Bulletin. 2021;1(2):189–195. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ZOTINF>
10. Семченко М. В., Жунева Л. С., Милентьева И. С. Перспективы производства меда и его использования в технологии пищевых продуктов. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 2–3. С. 18–20. [Semchenko MV, Zhuneva LS, Milenteva IS. Prospects of honey production and its use in food technology. Izvestiya Vuzov. Food Technology. 2019;(2–3):18–20. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/VVRGJL>
11. Зимняков В. М., Невитов М. Н. Производство меда в России. Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10. № 3. С. 50–55. [Zimnyakov VM, Nevitov MN. Honey production in Russia. Innovative Machinery and Technology. 2023;10(3):50–55. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PILSJY>
12. Барышева Е. С. Особенности физико-химических показателей качества меда различного ботанического и географического происхождения. Успехи современного естествознания. 2016. № 6. С. 9–13. [Barysheva ES. Features physical and chemical indicators of quality of honey of various botanical and geographic origin. Achievements of modern natural science. 2016;(6):9–13. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WBCPTP>
13. Gutnikova ON, Pavlunenko LE, Tsekhla SY. Comprehensive approach to assessing the quality of trade services by its indicators: Proceedings II Intern. Applied Research Conf. Strategies and trends in organizational and project management, 2022;382–396. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-94245-8>
14. Биязова З. Б., Павлуненко Л. Е. Использование профильного анализа продукта в оценке его конкурентоспособности. Маркетинг в системе социально-экономического развития: стратегия и тактика продвижения. 2023. С. 197–202. [Biyazova ZB, Pavlunenko LE. Profile analysis in competitiveness evaluation. Marketing in the system of socio-economic development: Strategy and promotion. 2023;197–202. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/LWOZXR>
15. Казанцева Е. Г., Лямкин И. И. Влияние производственно-сбытовых цепочек на продовольственную безопасность. Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 282–295. [Kazantseva EG, Lyamkin II. The Impact of value chains on food security. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):282–295. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2363>

16. Шулятьева Г. М. Повышение конкурентоспособности меда как фактор развития его производства в условиях импортозамещения. *Аэкономика: экономика и сельское хозяйство*. 2017. № 4. Номер статьи 1. [Shulyatieva GM. Improving the competitiveness of the med as a factor in the development of its production in terms of import. *Aeconomics: economics and agriculture*. 2017;(4):1. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YLXRNL>
17. Мизанбекова С. К., Богомолова И. П., Василенко И. Н., Богомолов А. В. Стратегическое планирование инновационного развития предприятия в условиях усиления конкуренции и рисков. *Техника и технология пищевых производств*. 2019. Т. 49. № 1. С. 144–158. [Mizanbekova SK, Bogomolova IP, Vasilenko IN, Bogomolov AV. Strategic planning of innovation development of industrial enterprises under growing competition and risks. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(1):144–158. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-144-158>
18. Ивашов А. В., Быкова Т. О., Саттаров В. Н., Маннапов А. Г. Медоносный потенциал и численность семей пчел в Республике Крым. *Пчеловодство*. 2017. № 10. С. 18–21. [Ivashov AV, Bykova TO, Sattarov VN, Mannapov AG. Assessment of melliferous and numerical potential of the population of honey bees in the Republic of Crimea. *Beekeeping*. 2017;(10):18–21. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YMKBQS>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2565>
<https://elibrary.ru/DRRMDA>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Листья пасленовых – источники антиоксидантов и витамина D



Е. Е. Бородина*, О. В. Козлова, В. Ю. Богер,
А. А. Проскурякова, В. П. Юстратов

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 17.12.2024

Принята после рецензирования: 19.02.2025

Принята к публикации: 04.03.2025

*Е. Е. Бородина: kborodina1908@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0001-6362-7589>

О. В. Козлова: <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

В. Ю. Богер: <https://orcid.org/0000-0002-9280-6292>

А. А. Проскурякова: <https://orcid.org/0000-0002-9583-9161>

В. П. Юстратов: <https://orcid.org/0000-0002-1779-4332>

© Е. Е. Бородина, О. В. Козлова, В. Ю. Богер,
А. А. Проскурякова, В. П. Юстратов, 2025



Аннотация.

Работа шахтеров, характеризующаяся длительным пребыванием в условиях ограниченного доступа к солнечному свету, приводит к высокому риску дефицита витамина D. Одновременно воздействие негативных факторов горнодобывающей промышленности существенно увеличивает вероятность развития различных заболеваний, таких как окислительный стресс, респираторные и воспалительные патологии. Богатые антиоксидантами листья пасленовых представляют собой перспективное средство профилактики заболеваний, компенсируя дефицит витамина D и противодействуя окислительному стрессу на клеточном уровне. Цель работы – исследовать компонентный состав листьев пасленовых растений (*Solanum lycopersicum* L., *S. tuberosum* L., *S. nigrum* L., *S. dulcamara* L.) для использования их в качестве источников обогащения продуктов питания антиоксидантами и витамином D.

Объектами исследования послужили высушенные листья томата (*S. lycopersicum*), картофеля (*S. tuberosum*), паслена черного (*S. nigrum*) и паслена сладко-горького (*S. dulcamara*). Для оценки антиоксидантной активности исследуемого сырья проводили комплексный анализ содержания флавоноидов, хлорофилла, каротиноидов и летучих органических соединений, а также применяли методы с использованием радикалов ABTS и DPPH. Исследование содержания витамина D проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Установлено, что в листьях томата, картофеля, паслена черного и сладко-горького содержалось большое количество определяемых веществ. Проведенные исследования с использованием двух групп радикалов – ABTS и DPPH также подтвердили высокую антиоксидантную активность листьев пасленовых растений. Наибольшее количество витамина D обнаружено в листьях картофеля (224,7 мкг/100 г) и паслена черного (22,8 мкг/100 г).

Исследование показало высокое содержание антиоксидантов и витамина D в листьях картофеля и паслена черного, что делает их перспективными источниками обогащения продуктов питания. Результаты анализов подтверждают значительный потенциал листьев пасленовых в улучшении здоровья шахтеров и снижении риска развития профессиональных заболеваний.

Ключевые слова. Антиоксидантная активность, витамин D, флавоноиды, хлорофилл, каротиноиды, летучие органические соединения, *Solanum*, томат, картофель, паслен

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 23-16-00113.

Для цитирования: Бородина Е. Е., Козлова О. В., Богер В. Ю., Проскурякова Л. А., Юстратов В. П. Листья пасленовых – источники антиоксидантов и витамина D. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 197–213.
<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2565>

***Solanaceae* Leaves as are Sources of Antioxidants and Vitamin D**



Ekaterina E. Borodina*^{ID}, **Oksana V. Kozlova**^{ID},
Veronika Yu. Boger^{ID}, **Larisa A. Proskuryakova**^{ID},
Vladimir P. Yustratov^{ID}

Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: 17.12.2024
Revised: 19.02.2025
Accepted: 04.03.2025

*Ekaterina E. Borodina: kborodina1908@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-6362-7589>
Oksana V. Kozlova: <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>
Veronika Yu. Boger: <https://orcid.org/0000-0002-9280-6292>
Larisa A. Proskuryakova: <https://orcid.org/0000-0002-9583-9161>
Vladimir P. Yustratov: <https://orcid.org/0000-0002-1779-4332>

© E.E. Borodina, O.V. Kozlova, V.Yu. Boger, L.A. Proskuryakova,
V.P. Yustratov, 2025



Abstract.

Coal miners work underground, which means they are likely to be at greater risk of developing Vitamin D deficiency due to reduced sunlight exposure. Other industrial health risks may include oxidative stress, respiratory diseases, and inflammatory pathologies. Leaves of nightshade plants are rich in antioxidants, which means they can prevent mining-related diseases, compensate for vitamin D deficiency, and counteract oxidative stress at the cellular level. The article describes the component composition of the leaves of various *Solanaceae* plants to be used in functional foods fortified with antioxidants and vitamin D.

The research featured dried leaves of tomato (*Solanum lycopersicum* L.), potato (*S. tuberosum* L.), black nightshade (*S. nigrum* L.), and bittersweet nightshade (*S. dulcamara* L.). The antioxidant studies involved a comprehensive analysis of flavonoids, chlorophyll, carotenoids, and volatile organic compounds using ABTS and DPPH radicals. The vitamin D content was studied by high performance liquid chromatography.

The leaves proved to be rich in flavonoids, chlorophyll, carotenoids, and volatile organic compounds. The high antioxidant potential was confirmed by ABTS and DPPH tests. The highest content of vitamin D belonged to potato leaves (224.7 µg/100 g) and black nightshade (22.8 µg/100 g), demonstrating good prospects for food fortification.

The high antioxidant content in the leaves of tomato, potato, black nightshade, and bittersweet nightshade makes them a promising raw material for the functional food industry. They may be able to improve the health of miners and prevent industrial diseases.

Keywords. Antioxidant activity, vitamin D, flavonoids, chlorophyll, carotenoids, volatile organic compounds, *Solanum*, tomato, potato, nightshade

Funding. This research was funded by the Russian Science Foundation, grant No. 23-16-00113.

For citation: Borodina EE, Kozlova OV, Boger VYu, Proskuryakova LA, Yustratov VP. *Solanaceae* Leaves as are Sources of Antioxidants and Vitamin D. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):197–213. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2565>

Введение

Подземные горные работы составляют основу экономического развития Кемеровской области – Кузбасса. По официальным данным Кемеровостата, в сфере добычи угля по состоянию на 2023 г. работали более 96 тыс. человек, что составляло примерно 8 % от общей численности рабочих Кузбасса. В последнее десятилетие качество здоровья шахтеров Кемеровской области характеризуется негативными тенденциями: остро стоит проблема недостаточности витаминов и микронутриентов, а также отмечается рост связан-

ных с этим заболеваний. Профессиональная деятельность шахтеров связана с длительным отсутствием солнечного света, что повышает риск развития дефицита витамина D [1, 2]. Результаты исследования русского ученого Г. М. Пичхадзе показали, что, несмотря на достаточное потребление большинства необходимых питательных веществ в течение рабочего дня, согласно рекомендованным суточным нормам, у шахтеров наблюдался недостаток витамина D [3]. Данные российского исследователя О. А. Соболевой также подтверждают низкую концентрацию витамина D

в крови шахтеров [4]. Приведенные исследования обуславливают актуальность разработки новых продуктов питания, обогащенных витамином D.

Деятельность шахтеров сопряжена со множеством негативных факторов, приводящих к развитию различных заболеваний. Так, шахтеры подвержены воздействию вредных факторов окружающей среды, включая угольную пыль, которая образуется в результате угледобычи. Более 60 различных соединений (органические и неорганические, в частности соединения тяжелых металлов) являются компонентами угольной пыли. При вдыхании частицы пыли оседают в легких, взаимодействуют с клеточными механизмами, участвующими в поддержании баланса активных форм кислорода, повреждают основные макромолекулы (ДНК, белки, липиды и др.), тем самым приводя к окислительному стрессу в организме. В дальнейшем негативное воздействие вызывает ряд заболеваний (например, респираторные, сердечно-сосудистые и онкологические) [5–7]. Воздействие угольной пыли на организм человека провоцирует развитие респираторных заболеваний, включая классические пневмокониозы и силикоз [8]. Кроме того, вдыхание продуктов сгорания топлива влечет развитие хронической обструктивной болезни легких [9–11]. Также связанные с работой в шахте негативные факторы окружающей среды и физические нагрузки способствуют развитию воспалительных процессов в организме. К тому же шахтеры подвержены повышенному риску остеопороза, обусловленному неблагоприятными условиями труда и дефицитом витамина D, который играет ключевую роль в усвоении кальция и фосфора, необходимых для поддержания костной ткани [12, 13].

Антиоксиданты – вещества, способствующие снижению риска возникновения респираторных и воспалительных заболеваний, а также окислительного стресса и связанных с ним заболеваний [14, 15]. К данной группе веществ относятся флавоноиды, хлорофилл, каротиноиды, а также летучие органические соединения растительного происхождения [16–18]. Флавоноиды – группа растительных компонентов, обладающих полезными свойствами как для каждого человека, так и, потенциально, для шахтеров, в частности. Они являются сильными антиоксидантами, защищают клетки и ткани от повреждения свободными радикалами. Это способствует снижению риска развития многих хронических заболеваний, таких как онкологические, сердечно-сосудистые, диабет и нейродегенеративные расстройства [19–21]. Флавоноиды обладают противовоспалительными свойствами, что может быть полезно при ревматических заболеваниях, воспалениях и аллергических реакциях [20]. Они способны уменьшать воспалительные процессы в организме, возможно вызванные различными заболеваниями [21]. Флавоноиды снижают риск развития респираторных заболеваний, которые связаны с негативным воздействием окружающей среды, например, вдыханием пыли

и газов в шахтах [22]. Помимо этого, данные вещества улучшают эластичность и проницаемость кровеносных сосудов, способствуя нормализации артериального давления и снижению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний [23, 24]. Также они укрепляют костную ткань и снижают риск остеопороза [25], играют роль в улучшении пищеварения и повышении эффективности абсорбции питательных веществ [26]. Хлорофилл и каротиноиды – растительные пигменты, относящиеся к флавоноидам. Антиоксидантное действие данных веществ способствует нейтрализации свободных радикалов, защищая клетки от повреждений, а также укреплению иммунитета, снижению риска развития ряда заболеваний [27, 28]. Данные вещества обладают антимутагенной, противоопухолевой и противовоспалительной активностью, а также способствуют нормализации работы желудочно-кишечного тракта [29, 30].

Растения производят широкий спектр природных летучих органических соединений, многие из которых уникальны для каждого вида. Многие из этих соединений обладают сразу несколькими терапевтическими свойствами – повышением нервной стабильности, улучшением сна и подавлением гиперреактивности, в дополнение к действию антиоксидантов [18, 31, 32].

Издавна традиционные растительные препараты играли важную роль в жизни человека и являлись природными источниками здоровья [33].

Пасленовые культуры, такие как картофель и томаты, широко представлены в рационе питания и являются источниками ценных биологически активных веществ, включая флавоноиды, хлорофилл и каротиноиды [34, 35]. Однако потребление данных культур, как правило, ограничивается плодами или клубнями. При сборе урожая образуется значительное количество вторичного растительного сырья (листья, стебли и т. д.), которое в настоящее время не используется в пищевой промышленности, несмотря на перспективу применения в качестве источника антиоксидантов, в частности витамина D [36–39].

В листьях пасленовых содержится большая концентрация витамина D в сравнении с клубнями или плодами [36, 37], также они содержат значительное количество биологически активных соединений (флавоноиды, хлорофилл, каротиноиды, летучие органические соединения и др.), обладающих выраженными антиоксидантными свойствами, что делает их возможными источниками функциональных ингредиентов для обогащения рациона питания шахтеров [38, 39]. Это открывает потенциал для создания новых технологий переработки данного сырья и получения обогащенных продуктов.

Цель работы – исследовать компонентный состав листьев пасленовых растений (*Solanum lycopersicum* L., *Solanum tuberosum* L., *Solanum nigrum* L. и *Solanum dulcamara* L.) для использования их в качестве источников обогащения продуктов питания антиоксидантами и витамином D.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили листья томата (*Solanum lycopersicum* L.) и картофеля (*Solanum tuberosum* L.), собранные в августе 2024 г. на территории г. Кемерово, а также листья паслена черного (*Solanum nigrum* L.) и паслена сладко-горького (*Solanum dulcamara* L.), собранные на территории Омской области в Марьяновском районе в июне 2024 г. Образцы высушивали при температуре 22–24 °С в течение 3 суток с обработкой ультрафиолетовым светом при режиме день:ночь – 8:16 ч.

Определение содержания флавоноидов. Для этого к 2,0 г измельченного образца добавляли 50 мл 70 % этилового спирта. Экстракцию проводили с обратным холодильником на кипящей водяной бане в течение 30 мин. Охлажденный экстракт фильтровали через бумажный фильтр «Желтая лента» (РЕАКОН, Россия) в мерную колбу объемом 50 мл. Оставшийся осадок подвергали повторной экстракции в тех же условиях. Объединенные экстракты доводили до метки 70 % этиловым спиртом (раствор А). Далее к 2,5 мл раствора А добавляли 5 мл 2 % раствора алюминия хлорида (ChemExpress, Россия) в 95 % этиловом спирте, 2 мл ацетатного буферного раствора с pH=3 и 15,5 мл 70 % этилового спирта (раствор Б). Для приготовления компенсационного раствора к 2,5 мл раствора А добавляли 2 мл ацетатного буферного раствора с pH = 3 и 20,5 мл 70 % этилового спирта. Раствор сравнения готовили аналогично раствору Б с использованием вместо раствора А раствора рутина 200 мкг/мл в 70 % этиловом спирте. Оптическую плотность раствора Б, компенсационного раствора и раствора сравнения измеряли на спектрофотометре UV 1800 (Shimadzu, Япония) при длине волны 450 нм в кюветах с длиной оптического пути 10 мм [40]. Содержание флавоноидов (Фл, %) рассчитывали по формуле 1.

$$\text{Фл} = \frac{(A_B - A_K) \times m_p}{m \times A_c} \times 100 \quad (1)$$

где A_B – оптическая плотность раствора Б; A_K – оптическая плотность компенсационного раствора; m – масса навески образца, пошедшего на анализ, г; m_p – масса рутина в растворе сравнения, г; A_c – оптическая плотность раствора сравнения.

Для определения содержания общего хлорофилла и каротиноидов к 4 мл раствора А, полученного ранее, добавляли 21 мл 95 % этилового спирта (раствор В). Оптическую плотность раствора В измеряли на спектрофотометре при длине волны 667 нм для общего хлорофилла [41] и 450 нм для каротиноидов [39] в кюветах с длиной оптического пути 10 мм. В качестве раствора сравнения использовали 95 % этиловый спирт. Содержание общего хлорофилла и каротиноидов рассчитывали по формулам 2 и 3.

$$\text{Хл} = \frac{A_B \times 100 \times 25}{m \times 3778} \times 100 \quad (2)$$

где Хл – содержание хлорофилла, %; A_B – оптическая плотность раствора В; m – масса навески образца, г; 100 – пересчет на разведение, мл; 25 – содержание хлорофилла в 1 мл 1 % раствора в этиловом спирте, мг; 3778 – удельный показатель поглощения хлорофилла при 667 нм.

$$\text{Кр} = \frac{A_B \times 100 \times 10}{m \times 2500} \times 100 \quad (3)$$

где Кр – содержание каротиноидов, %; A_B – оптическая плотность раствора В; m – масса навески образца, г; 100 – пересчет на разведение, мл; 10 – содержание каротиноидов в 1 мл 1 % раствора в этиловом спирте, мг; 2500 – удельный показатель поглощения каротиноидов при 450 нм.

Компонентный состав летучих органических соединений определяли методом газо-жидкостной хроматографии, согласно методу, описанному В. Д. Работяговым и соавторами [42]. Экстрагировали исследуемое сырье с помощью 50 % этилового спирта в соотношении 1:10 в течение 10 суток при температуре 22–24 °С. Для анализа использовали газо-жидкостный масс-спектрометр GCMS-QP2010Ultra SE (Shimadzu, Япония).

Антиоксидантная активность по методу с ABTS. 14 ммоль реактива ABTS (AppliChem, Германия) растворили в дистиллированной воде и 5 ммоль калия надсернистого (Ленреактив, Россия) – в 0,1 М калий-фосфатном буфере (pH 7,4) в соотношении 1:1. Раствор ABTS выдерживали в течение 16–18 ч при комнатной температуре в темном месте, далее разбавляли его дистиллированной водой до оптической плотности $0,70 \pm 0,02$ при длине волны 754 нм. Полученный раствор смешали с измельченными листьями пасленовых в соотношении 15:1, держали в темном месте в течение 30 мин и фильтровали. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре UV 1800 (Shimadzu, Япония) при длине волны 754 нм [43]. Антиоксидантную активность по ABTS (AOA_{ABTS} , %) рассчитывали по формуле 4.

$$\text{AOA}_{\text{ABTS}} = \frac{A_{\text{ABTS}} - A_{\text{иссл}}}{A_{\text{ABTS}}} \times 100 \quad (4)$$

где A_{ABTS} – оптическая плотность реактива ABTS; $A_{\text{иссл}}$ – оптическая плотность исследуемого раствора.

Антиоксидантная активность по методу с DPPH. 0,079 г сухого реактива DPPH (Alfa Aesar, Германия) растворяли в 1 л 95 % этилового спирта (Кемеровская фармацевтическая фабрика, Россия), затем выдерживали в течении 15 мин в ультразвуковой ванне Stegler 3DT (Stegler, Китай). Полученный раствор смешивали с измельченными листьями пасленовых растений в соотношении 3:1, оставляли в темном месте на 30 мин и фильтровали. В качестве контроля использовали 95 % этиловый спирт (K_1) и раствор DPPH (K_2). Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре при длине волны 517 нм [44]. По формуле 5 рассчитывали антиоксидантную активность по DPPH (AOA_{DPPH} , %).

$$AOA_{DPPH} = \left(1 - \frac{ОП_{об} - ОП_{K1}}{ОП_{K2} - ОП_{K1}}\right) \times 100 \quad (5)$$

где ОП_{об} – оптическая плотность образца; ОП_{К1} – оптическая плотность К₁; ОП_{К2} – оптическая плотность К₂.

Определение содержания витамина D проводили в соответствии с ГОСТ EN 12821-2014 методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с помощью жидкостного хроматографа LC-20 (Shimadzu, Япония). В качестве растворителя использовали гексан (Лен-реактив, Россия).

Все исследования проводились в трехкратной повторности. Полученные данные выражали среднее значение трех измерений со стандартным отклонением. Анализ статистических данных осуществляли при помощи программного продукта Microsoft Office Excel 2007. Статистический анализ полученных данных проводили методом ANOVA с апостериорным критерием Шеффе.

Работа была выполнена с использованием оборудования ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» на базе Кемеровского государственного университета.

Результаты и их обсуждение

Согласно литературным данным [14, 15], для снижения риска развития окислительного стресса и связанных с ним заболеваний рацион питания шахтеров должен быть богат антиоксидантами. К веществам, обладающим высокой антиоксидантной активностью, относятся флавоноиды – группа фитохимических соединений, участвующая в защите клетки от повреждений, индуцированных свободными радикалами. Это

свойство позволяет снизить риск развития различных хронических заболеваний включая сердечно-сосудистые, диабет и нейродегенеративные патологии [19–21]. Основными растительных флавоноидами являются хлорофилл и каротиноиды. Их способность нейтрализовывать свободные радикалы помогает защищать клетки от окислительного стресса, потенциально укрепляя иммунную систему и снижая риск развития ряда заболеваний [27, 28]. Результаты определения содержания флавоноидов, хлорофилла и каротиноидов представлены на рисунке 1.

Содержание флавоноидов варьировалось от 31,7 до 50,3 % от сухой массы, хлорофилла – от 10,1 до 29,9 % от сухой массы, каротиноидов – 8,1–24,3 % от сухой массы. Наибольшее количество отмечено у листьев паслена сладко-горького (содержание флавоноидов, хлорофилла и каротиноидов соответствуют 50,3; 29,9 и 24,3 % от сухой массы), на втором месте листья картофеля (46,5; 22,4 и 19,6 % от сухой массы).

Также к числу веществ, проявляющих антиоксидантную активность, относятся летучие органические соединения, продуцируемые растениями. Биосинтез и состав данных веществ варьируется в зависимости от вида и сорта растения, условий его роста и стадии развития. Антиоксидантный потенциал этих соединений обусловлен способностью нейтрализовать свободные радикалы, ингибировать перекисное окисление липидов и хелатировать ионы металлов, играющих роль прооксидантов [18]. Авторами проведено исследование этиловых экстрактов листьев пасленовых по методу В. Д. Работягова и соавторов [42] с использованием газо-жидкостного масс-спектрометра и получен профиль летучих органических соединений (рис. 2–5).

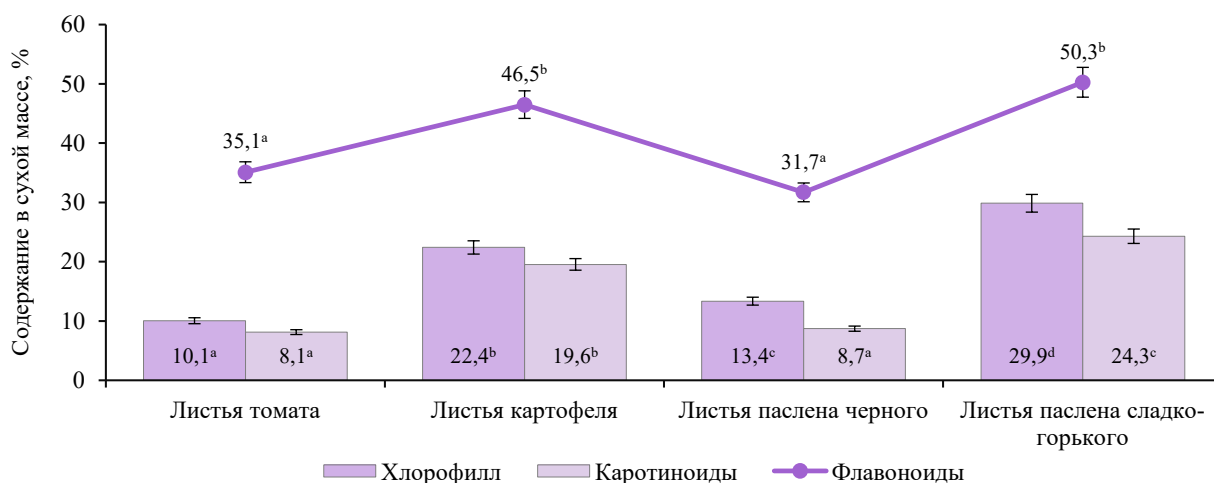


Рисунок 1. Содержание флавоноидов, хлорофилла и каротиноидов в исследуемых образцах пасленовых растений (различия в буквенных индексах показывают достоверность различий между растениями (в пределах одного исследуемого параметра), рассчитанную методом ANOVA с апостериорным критерием Шеффе.

При отсутствии достоверных различий буквенный индекс одинаков)

Figure 1. Content of flavonoids, chlorophyll, and carotenoids in nightshade leaves: different superscripts mean significant difference within one parameter (ANOVA, Scheffe post hoc test)

Анализ компонентного состава относительного профиля летучих органических соединений этиловых экстрактов листьев исследуемых пасленовых растений представлен в таблицах 1–4. В составе летучих органических соединений исследуемых образцов листьев пасленовых присутствуют в основном вещества терпеновой природы: моно-, сесквитерпены, их производные, а также гетероциклические и ароматические соединения, альдегиды, жирные спирты, кислоты и эфиры.

Результаты анализа хроматографического профиля летучих органических соединений этилового экстракта листьев томата (рис. 2, табл. 1) показали, что в наибольшем количестве в них содержится уксусная кислота (15,57 % относительно других компонентов), также 1,9-циклогексадекадиен (8,04 %), этиловый эфир гексадекановой кислоты (6,93 %), этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновой кислоты (6,77 %), тридекановая кислота (4,64 %), этиловый эфир линолевой кислоты (4,55 %), 5-гидроксиметилфурфурол (4,5 %), декагидро-транснафталин (3,86 %), гидразид уксусной кислоты и гексадекановая кислота (по 3,73 %), (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновая кислота (3,65 %), 2,3-дигидро-3,5-дигидрокси-6-метил-4Н-пиран-4-он (3,3 %), октадекановая кислота (2,22 %), 1-(+)-аскорбиновая кислота 2,6-дигексадеканоат (1,72 %), этиловый эфир 2-гидрокси-1-(гидроксиметил) гексадекановой кислоты (1,09 %), N-бутил-N-нитрозо-мочевина (1,07 %) и 2,4-дигидрокси-2,5-диметил-3(2Н)-фуран-3-он (1 %). Другие исследователи находили схожие летучие органические соединения в этиловых экстрактах томатов. Так, J. Nawrocka с соавторами [45] обнаружили в листьях

томата преимущественно спирты, альдегиды и терпеноиды; и R. A. Arafa *et al.* [46] – этиловые эфиры октадекатриеновой кислоты; карбоновые кислоты, терпеноиды и жирные спирты.

Данные, приведенные на рисунке 3 и в таблице 2, свидетельствуют о том, что в листьях картофеля в наибольшем количестве содержатся метиловый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты (13,43 % относительно других компонентов), уксусная кислота (12,17 %), этиловый эфир гексадекановой кислоты (10,7 %), (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновая кислота (8,96 %), фитол (7,04 %), гексадекановая кислота (5,71 %), этил-9-гексадеценат (4,06 %), 4,5-дигидро-5-метил-метиловый эфир (R)-5-изоксазолкарбоновая кислота (3,71 %), октадекановая кислота (3,08 %), N-пентилизотиоцианат (2,69 %), N-(1,1-диметил-3-оксобутил)-2-метилазетидин (1,79 %), этиловый эфир 2-гидрокси-1-(гидроксиметил) гексадекановой кислоты (1,45 %), пропановая кислота (1,12 %), этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновая кислота (1,06 %), 2,3-дигидроксипропиловый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновая кислота (1,05 %) и дигидро-2(3Н)-фуранон (1,04 %). Исследования других ученых выявили аналогичные летучие органические соединения в листьях картофеля. Например, С. А. Agho *et al.* [47] и N. Cara *et al.* [48] обнаружили в листьях картофеля преимущественно насыщенные жирные кислоты, терпеноиды, ацетальдегиды.

Результаты анализа хроматографического профиля летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена черного (рис. 4, табл. 3) показали,

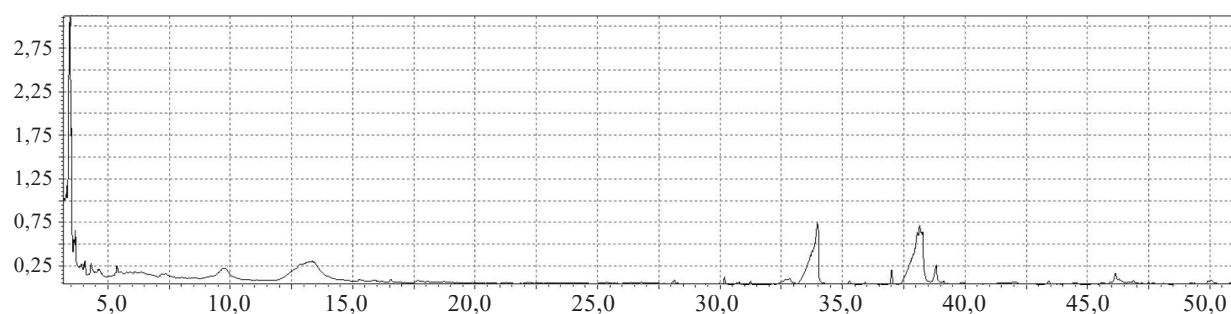


Рисунок 2. Хроматограмма летучих органических соединений этилового экстракта листьев томата

Figure 2. Volatile organic compounds in ethyl extract of tomato leaves: chromatogram

Таблица 1. Компонентный состав летучих органических соединений этилового экстракта листьев томата

Table 1. Component composition of volatile organic compounds in ethyl extract of tomato leaves

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
2	3,321	3,305	3,345	0,76	Этиловый эфир 2-оксо-пропановой кислоты
3	3,473	3,345	3,490	15,57	Уксусная кислота (CAS)
4	3,504	3,490	3,575	3,73	Гидразид уксусная кислота (CAS)
5	3,617	3,595	3,665	0,71	Метиловый эфир 2-пропановой кислоты

Продолжение таблицы 1

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
6	3,680	3,665	3,750	0,55	1-Гидрокси-2-Пропанон (CAS)
9	4,016	3,995	4,040	0,40	2-Фуранметанол
10	4,076	4,040	4,140	0,46	5-(1,2-Пропадисенилокси)-2-пентанон (CAS)
12	4,323	4,245	4,455	1,07	N-Бутил-N-нитрозо-мочевина
13	4,477	4,455	4,550	0,26	3-Бром-гексан (CAS)
14	4,615	4,550	4,650	0,41	Циклогексанон
15	4,665	4,650	4,745	0,34	4-Метил-1,6-гептадиен-4-ол
21	5,372	5,345	5,450	1,00	2,4-Дигидрокси-2,5-диметил-3(2H)-фуран-3-он
22	5,495	5,450	5,530	0,30	1-Хлор-3-пентанон
23	5,557	5,530	5,645	0,39	Фенол (CAS)
24	5,758	5,645	5,780	0,43	DL-Ксилоза
25	5,800	5,780	5,830	0,17	DL-Арабиноза
26	5,922	5,830	6,045	0,75	Этил-N-гидроксиацетимидат
27	6,095	6,045	6,210	0,59	3-Метил-1,2-циклопентандион
28	6,257	6,210	6,305	0,33	4-Метокси-2,6-дипропил-1,3-диоксан
29	6,357	6,305	6,590	0,89	Дипропионат 2-фуранметандиол
30	6,635	6,590	6,685	0,21	3-Гидроксипиридина моноацетат
31	6,760	6,685	6,820	0,21	3,6-Диметил-3,6-дигидро-пиран-2-он оксим
40	9,787	9,770	10,180	3,30	2,3-Дигидро-3,5-дигидрокси-6-метил-4H-пиран-4-он (CAS)
43	12,560	12,480	12,575	0,72	3-Этил-4,4-диметил-2-пентен
44	12,845	12,575	12,930	3,86	Декагидро-транс-нафталин (CAS)
48	13,240	13,225	13,255	0,45	2-Фуранметанол (CAS)
51	13,405	13,390	13,945	4,50	5-Гидроксиметилфурфурол
52	13,965	13,945	13,995	0,13	5-Метил-3-гексен-2-он
56	16,567	16,480	16,660	0,18	2-(2-Бутенил)-4-гидрокси-3-метил-(Z)-2-циклопентен-1-он (CAS)
58	17,672	17,615	17,755	0,10	Транс-кариофиллен
66	28,142	27,990	28,220	0,23	Тетрадекановая кислота
68	30,182	30,105	30,280	0,29	Неофитадиен
69	30,691	30,565	30,745	0,15	Пентадекановая кислота
70	30,794	30,745	30,865	0,13	3,7,11,15-Тетраметил-2-гексадецен-1-ол
71	31,245	31,175	31,360	0,16	3,7,11,15-Тетраметил-[R-[R*,R*-(E)]]-2-гексадецен-1-ол (CAS)
73	32,856	32,795	32,945	0,12	1-Метокси-(Э)-9-октадецен
74	33,615	33,155	33,630	3,73	Гексадекановая кислота
75	33,695	33,630	33,710	1,72	l-(+)-Аскорбиновая кислота 2,6-дигексадеканоат
76	33,862	33,710	33,875	4,64	Тридекановая кислота
77	33,974	33,875	34,385	6,93	Этиловый эфир гексадекановой кислоты (CAS)
78	35,278	35,165	35,465	0,27	Эйкозановая кислота (CAS)
79	35,920	35,770	35,990	0,15	Гептадекановая кислота (CAS)
83	37,006	36,905	37,150	0,80	Фитол
84	37,960	37,330	37,975	8,04	1,9-Циклогексадекадиен
85	38,053	37,975	38,095	4,55	Этиловый эфир линолевой кислоты
86	38,158	38,095	38,250	6,77	Этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновая кислота
87	38,271	38,250	38,590	3,65	(Z,Z,Z)-9,12,15-Октадекатриеновая кислота
88	38,836	38,590	39,045	2,22	Октадекановая кислота
89	39,135	39,045	39,250	0,17	Этиловый эфир октадекановой кислоты
90	39,904	39,840	40,050	0,11	Фитол ацетат
93	42,019	41,950	42,140	0,11	Бензоат (3,бета.)-холеста-4,6-диен-3-ол (CAS)
100	46,142	45,945	46,245	1,09	2-Гидрокси-1-(гидроксиметил) этиловый эфир гексадекановой кислоты
101	46,281	46,245	46,550	0,47	Бегеновый спирт
102	46,877	46,810	47,065	0,12	1,2-Бензолдикарбоновая кислота
108	49,940	49,820	49,990	0,25	2,3-Дигидроксипропиловый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты (CAS)

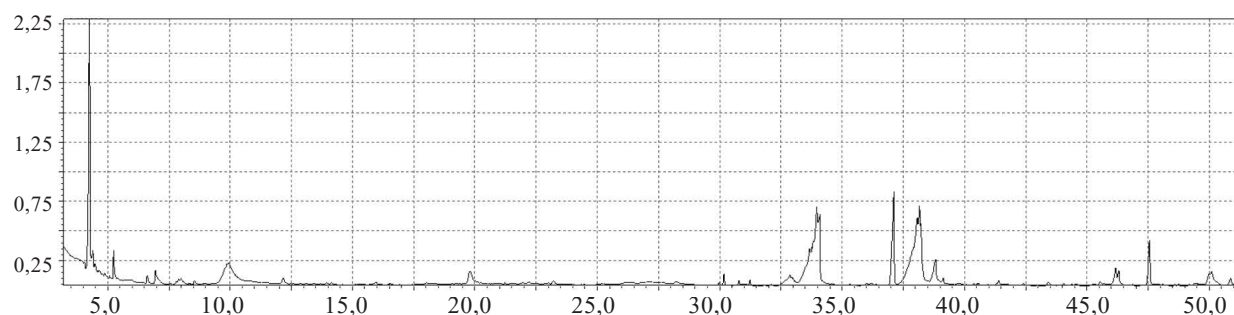


Рисунок 3. Хромотограмма летучих органических соединений этилового экстракта листьев картофеля

Figure 3. Volatile organic compounds in ethyl extract of potato leaves: chromatogram

Таблица 2. Компонентный состав летучих органических соединений этилового экстракта листьев картофеля

Table 2. Component composition of volatile organic compounds in ethyl extract of potato leaves

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	4,056	4,020	4,090	0,12	Аланин-D3
2	4,248	4,100	4,330	12,17	Уксусная кислота (CAS)
3	4,397	4,330	4,440	1,12	Пропановая кислота
4	4,477	4,440	4,585	0,42	1,2-Пропандиол (CAS)
6	4,653	4,630	4,760	0,11	2-Гидроксиметил-3-метил-оксиран
8	4,876	4,840	5,065	0,16	Сульфинилбис-метан (CAS)
9	5,242	5,200	5,485	1,04	Дигидро-2(3Н)-Фуранон (CAS)
11	6,614	6,565	6,755	0,41	2,4-Диметил-2-оксазолин-4-метанол
12	6,947	6,860	7,060	0,98	N-(3-Метил-3-бутенил)-пирролидин
13	7,075	7,060	7,310	0,39	2-Октанон (CAS)
17	7,820	7,730	7,860	0,24	2,5-Диметил-4-гидрокси-3(2Н)-фуранон
19	7,995	7,925	8,090	0,59	Азидо-циклогексан
20	8,110	8,090	8,290	0,24	1,1'-Метиленбис-пиперидин
21	8,335	8,290	8,435	0,10	2,5-Дигидро-1Н-пиррол
22	8,546	8,470	8,730	0,29	Мальтол
24	8,959	8,930	9,100	0,11	3,4-Диметил-3-пирролин-2-он
25	9,880	9,430	9,895	2,69	Н-Пентил изотиоцианат
26	9,925	9,895	10,410	3,71	4,5-Дигидро-5-метил-метиловый эфир (R)-5-изоксазолкарбоновая кислота (CAS)
28	12,167	12,010	12,395	0,57	1-Ментен-8-ил ацетат
30	13,949	13,840	14,050	0,12	2-Метокси-4-винилфенол
31	14,132	14,070	14,245	0,10	3-(3-Метил-1-бутенил)-(Э)-циклогексен
35	15,969	15,830	16,115	0,24	N,N-Диэтиланилин
41	19,807	19,650	20,085	1,79	N-(1,1-Диметил-3-оксобутил)-2-метилазетидин
48	22,204	22,065	22,340	0,20	Альфа-Бисаболол
53	23,209	23,100	23,375	0,29	8,8-Диметил-9-метилен-1,5-циклундекадиен
56	28,228	28,060	28,310	0,15	Тетрадекановая кислота (CAS)
57	29,971	29,910	30,085	0,14	6,10,14-Триметил-2-пентадеканон
58	30,177	30,085	30,265	0,43	Неофитадиен
59	30,785	30,700	30,850	0,20	3,7,11,15-Тетраметил-2-гексадецен-1-ол
62	32,117	32,000	32,235	0,10	Дибутиловый эфир 1,2-бензолдикарбоновой кислоты (CAS)
63	32,710	32,430	32,760	0,71	3-(3-Бутенил)-2-циклогептен-1-он
64	32,867	32,760	32,940	1,06	Этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновой кислоты
67	33,674	33,525	33,725	4,06	Этил-9-гексадеценоат
68	33,965	33,725	34,005	10,70	Этиловый эфир гексадекановой кислоты
69	34,094	34,005	34,450	5,71	Гексадекановая кислота (CAS)
74	36,238	36,095	36,295	0,15	1-Нонадеканол

Продолжение таблицы 2

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
75	37,118	36,860	37,210	7,04	Фитол
76	38,077	37,295	38,095	13,43	Метилвый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты
77	38,162	38,095	38,570	8,96	(Z,Z,Z)-9,12,15-Октадекатриеновая кислота
78	38,820	38,570	39,020	3,08	Октадекановая кислота
79	39,127	39,020	39,215	0,37	Этиловый эфир октадекановой кислоты
81	39,820	39,750	39,965	0,12	(Z,Z)-9,12-Октадекадиеновая кислота
82	40,386	40,305	40,450	0,07	3-Гидроксидекановая кислота
85	41,398	41,240	41,500	0,26	1-Октадеканол
89	43,437	43,310	43,570	0,27	Эйкозановая кислота (CAS)
91	44,530	44,465	44,645	0,11	Октагидро-1-(2-октилдецил)-пентален (CAS)
94	46,183	45,965	46,240	1,45	2-Гидрокси-1-(гидроксиметил) этиловый эфир гексадекановой кислоты
95	46,301	46,240	46,515	0,96	Н-Нонадеканол-1
104	50,013	49,825	50,040	1,05	2,3-Дигидроксипропиловый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты (CAS)
106	50,874	50,720	50,970	0,44	Н-Тетракозанол-1

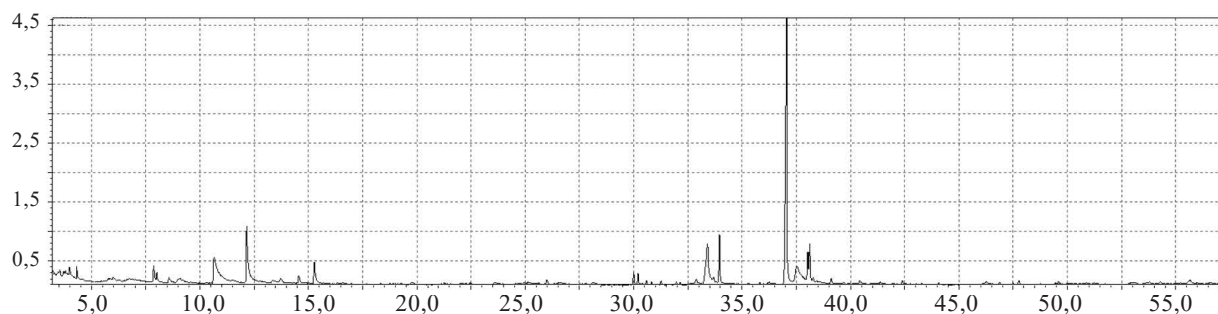


Рисунок 4. Хроматограмма летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена черного

Figure 4. Volatile organic compounds in ethyl extract of black nightshade leaves: chromatogram

Таблица 3. Компонентный состав летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена черного

Table 3. Component composition of volatile organic compounds in ethyl extract of black nightshade leaves

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
2	3,707	3,660	3,760	0,45	3-Метил-бутановая кислота (CAS)
3	3,799	3,760	3,820	0,27	2-Метил-бутановая кислота (CAS)
5	3,979	3,955	4,095	0,70	Дигидро-2(3H)-фуранон (CAS)
6	4,313	4,290	4,425	0,86	Метокси-фенил-Оксим
7	5,985	5,955	6,055	0,31	Дигидро-3-гидрокси-4,4-диметил-(+/-)-2(3H)-фуранон,
8	6,100	6,055	6,135	0,12	1-Этоксипентан-3-ол
9	7,867	7,815	7,965	1,87	3-Метил-гептан
10	8,568	8,515	8,630	0,58	2-Бутилтетрагидро-фуран (CAS)
11	8,690	8,630	8,700	0,14	Этиловый эфир муравьиной кислоты (CAS)
12	9,094	8,910	9,160	0,77	Ундец-3-ен-2-ол
13	10,654	10,580	10,855	7,44	4,7-Диметил-4-октанол
14	10,870	10,855	10,955	1,02	Бутиловый эфир 2-метил-2-пропеновая кислота (CAS)
15	11,030	10,955	11,070	0,41	1-Хлор-8-гептадецен (CAS)
16	12,158	12,100	12,330	8,70	5-Нонанол (CAS)
17	12,385	12,330	12,405	0,43	3-Метил-6-(1-метилэтил)-2-циклогексен-1-он (CAS)
19	13,728	13,650	13,755	0,40	3-Изопропил-4-метил-дек-1-ен-4-ол

Продолжение таблицы 3

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
21	14,551	14,495	14,655	0,88	3-Метил-6-(1-метилэтилиден)-2-циклогексен-1-он (CAS)
22	15,272	15,200	15,450	3,14	Оксид пиперитенона
23	26,006	25,930	26,095	0,58	2-Амино-2-метил-3-додecin
24	29,997	29,930	30,090	1,17	6,10,14-Триметил-2-пентадеканон
25	30,200	30,090	30,260	1,02	Неофитадиен
26	30,290	30,260	30,335	0,11	5-Этил-2-нонанол (CAS)
27	30,591	30,535	30,650	0,35	Этиловый эфир пентадекановой кислоты
28	30,812	30,765	30,880	0,27	3,7,11,15-Тетраметил-2-гексадецен-1-ол
29	31,264	31,215	31,325	0,33	Неофитадиен
31	32,135	32,090	32,180	0,14	Метилловый эфир 14-метил-пентадекановой кислоты (CAS)
33	32,896	32,820	32,960	0,45	(Z)-3-Гептадецен-5-ин
35	33,402	33,195	33,610	10,76	Н-Гексадеканановая кислота
36	33,688	33,610	33,755	0,71	Этил-9-гексадеценонат
37	33,960	33,870	34,085	4,52	Этиловый эфир гексадекановой кислоты
39	37,053	36,895	37,245	37,60	Фитол
41	37,513	37,370	37,540	1,90	(Z,Z)-9,12-Октадекадиеновая кислота
43	38,028	37,950	38,070	3,06	Этиллинолеат
44	38,118	38,070	38,215	3,85	Этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновой кислоты
45	38,273	38,230	38,345	0,30	Этиловый эфир (Z)-9-октадеценонной кислоты
47	39,111	39,055	39,175	0,50	Этиловый эфир октадекановой кислоты (CAS)
49	42,389	42,310	42,445	0,39	4,8,12,16-Тетраметилгептадекан-4-олид
50	44,068	44,015	44,115	0,15	Этиликозаноат
52	47,765	47,710	47,835	0,44	1,2,3-Пропантириловый эфир 2-метил-пропановой кислоты
54	49,590	49,540	49,680	0,26	2,6,6-Триметил-октановая кислота

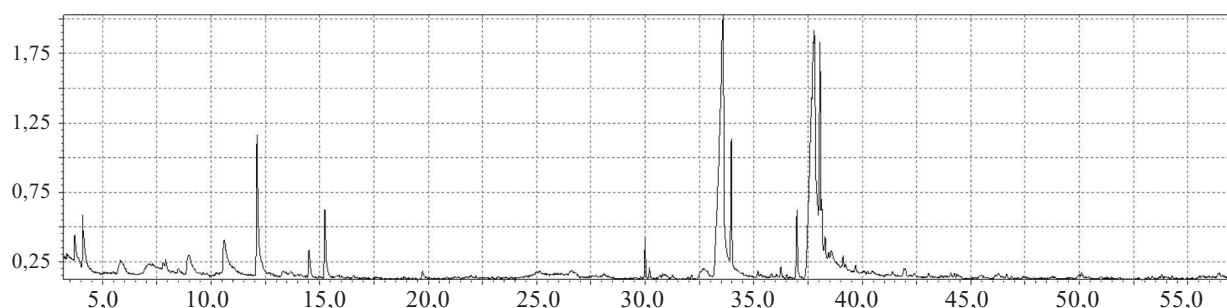


Рисунок 5. Хроматограмма летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена сладко-горького

Figure 5. Volatile organic compounds in ethyl extract of bitter melon leaves: chromatogram

Таблица 4. Компонентный состав летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена сладко-горького

Table 4. Component composition of volatile organic compounds in ethyl extract of bitter melon leaves

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
1	3,352	3,320	3,450	0,19	3,5-Бис-триметилсилил-2,4,6-циклогептатриен-1-он
2	3,717	3,675	3,860	0,93	Дигидро-2(3H)-фуранон (CAS)
5	4,080	4,055	4,320	2,22	Метокси-фенил-оксим
6	5,740	5,675	5,815	0,10	Бензолацетальдегид
7	7,775	7,730	7,870	0,29	Формиат 3-метил-1-бутанол
8	7,914	7,870	8,020	0,36	Гексаметил-циклотрисилоксан (CAS)

Продолжение таблицы 4

№ пика	Время пика	Начало выхода	Конец выхода	Содержание относительно других компонентов, %	Название
9	8,964	8,815	9,100	1,14	2,3-Дигидро-3,5-дигидрокси-6-метил-4Н-пиран-4-он (CAS)
11	10,606	10,500	10,665	1,54	Каприловый ангидрид
12	10,675	10,665	10,730	0,44	Метилловый эфир 4-Ацетиламинобут-2-еновой кислоты
13	10,740	10,730	10,785	0,20	3-Гидрокси-пропанитрил (CAS)
15	12,115	12,040	12,430	6,40	5-Нонанол (CAS)
16	14,509	14,450	14,650	1,00	3-Метил-6-(1-метилэтилиден)-2-циклогексен-1-он (CAS)
17	15,238	15,170	15,440	2,54	Оксид пиперитенона
18	19,743	19,670	19,815	0,27	5,6,7,7А-Тетрагидро-4,4,7а-триметил-2(4Н)-бензофуранон
20	29,991	29,925	30,065	0,89	6,10,14-Триметил-2-пентадеканон (CAS)
21	30,195	30,145	30,250	0,22	Неофитадиен
23	32,129	32,080	32,190	0,12	Метилловый эфир додекановой кислоты (CAS)
24	33,575	33,150	33,585	23,31	Гексадекановая кислота (CAS)
27	33,965	33,820	34,070	3,86	Этиловый эфир гексадекановой кислоты
28	36,249	36,190	36,310	0,22	Метилловый эфир (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты
29	36,525	36,460	36,575	0,11	Метилловый эфир 6-октадеценной кислоты (CAS)
30	36,989	36,905	37,080	1,86	Фитол
31	37,770	37,370	37,785	22,58	4-Тетрадецин
32	37,795	37,785	37,965	9,37	(Z,Z)-9,12-Октадекадиеновая кислота
33	38,049	37,965	38,100	7,88	Этиловый эфир линолевой кислоты
34	38,121	38,100	38,210	2,00	Этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновой кислоты
35	38,277	38,210	38,380	1,27	Этиловый эфир (Z)-9-октадеценной кислоты
36	38,453	38,380	38,495	0,42	Этилолеат
37	38,573	38,495	38,705	0,64	Октадекановая кислота
38	39,112	39,070	39,180	0,24	Этиловый эфир октадекановой кислоты (CAS)
39	39,694	39,625	39,765	0,19	Фитол ацетат
41	41,923	41,865	42,045	0,38	1,3-Диметил-(3,7-диметилоктил) циклогексан
42	44,074	44,015	44,120	0,11	Этиловый эфир эйкозановой кислоты
44	53,797	53,740	53,855	0,11	Урс-12-ен-28-ол (CAS)
45	56,981	56,930	57,055	0,12	(3β,25R)-спирост-5-ен-3-ол ацетат

что в наибольшем количестве в них содержится фитол (37,6 % относительно других компонентов), также Н-гексадекановая кислота (10,76 %), 5-нонанол (8,7 %), 4,7-диметил-4-октанол (7,44 %), этиловый эфир гексадекановой кислоты (4,52 %), этиловый эфир (Z,Z,Z)-9,12,15-октадекатриеновой кислоты (3,85 %), оксид пиперитенона (3,14 %), этиллинолеат (3,06 %), (Z,Z)-9,12-октадекадиеновая кислота (1,9 %), 3-метилгептан (1,87 %), 6,10,14-триметил-2-пентадеканон (1,17 %), бутиловый эфир 2-метил-2-пропеновой кислоты и неофитадиен (по 1,02 %). Проведенный обзор литературы подтверждает наличие аналогичных летучих органических соединений в этиловых экстрактах листьев паслена черного. Т. Aburjai *et al.* [49] и Х. Chen *et al.* [38] обнаружили в листьях паслена черного преимущественно насыщенные терпеноиды, эфиры карбоновых кислот, жирные спирты.

В результате анализа хроматографического профиля летучих органических соединений этилового экстракта листьев паслена сладко-горького (рис. 5.,

табл. 4) выявили большое содержание гексадекановой кислоты (23,31 % относительно других компонентов), 4-тетрадецина (22,58 %), (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты (9,37 %), этилового эфира линолевой кислоты (7,88 %), 5-нонанола (6,4 %), этилового эфира гексадекановой кислоты (3,86 %), оксида пиперитенона (2,54 %), метокси-фенил-оксима (2,22 %), этилового эфира (Z,Z,Z)-9,12,15-окта-декатриеновой кислоты (2 %), фитола (1,86 %), каприлового ангидрида (1,54 %), этилового эфира (Z)-9-октадеценной кислоты (1,27 %), 2,3-дигидро-3,5-дигидрокси-6-метил-4Н-пиран-4-она (1,14 %), 3-метил-6-(1-метилэтилидена)-2-циклогексен-1-она (1 %). Анализ литературных данных свидетельствует о том, что ранее исследования состава летучих органических соединений листьев паслена сладко-горького не проводились.

Идентифицированные летучие вещества в этиловых экстрактах листьев пасленовых растений обладают высокой биологической активностью. Например, уксусная кислота, обнаруженная в большом количестве

в листьях картофеля и томата, способствует улучшению жирового и углеводного обмена в организме человека, а также характеризуется высокими антибактериальными и антиоксидантными свойствами [50–52]. Терпеноиды, в частности 1,9-циклогексадекадиен (листья картофеля) и фитол (листья томата, паслена черного и сладко-горького), обладают антиоксидантными, антимикробными и противовоспалительными свойствами [53, 54]. Полиненасыщенные жирные кислоты и их производные, в том числе гексадекановая, октадекатриеновая, линолевая кислоты и 5-нонанол, а также их эфиры (обнаружены во всех исследуемых экстрактах), улучшают жировой обмен, снижают негативное воздействие окислительного стресса и воспалительных процессов на организм [55–59].

Важность антиоксидантной активности сырья для обогащения рациона питания шахтеров обусловлена способностью нейтрализовать свободные радикалы, снижая риск развития окислительного стресса и связанных с ним заболеваний [60]. Все вышеперечисленные исследуемые вещества (флавоноиды, хлорофилл, каротиноиды и летучие соединения) обладают антиоксидантной активностью, однако механизмы их действия могут быть различны. Поэтому для всесторонней оценки антиоксидантного потенциала исследуемого сырья необходим комплексный анализ, включающий определение способности к нейтрализации различных типов свободных радикалов. Результаты определения антиоксидантной активности по методам с ABTS и DPPH представлены на рисунке 6.

Антиоксидантная активность по методу с ABTS варьировалась от 36,2 до 55,4 %, по методу с DPPH – 28,2–43,5 %, что указывает на выраженную антиокси-

дантную способность. Наибольшей активностью обладали листья паслена сладко-горького (55,4 и 43,5 %), на втором месте – листья картофеля (51,9 и 32,4 %), на третьем – листья томата (40,8 и 29,5 %). На основании результатов, полученных двумя методами, можно сделать вывод, что исследуемое сырье обладает высокой антиоксидантной активностью. Так, индийские ученые М. R. Priyadarshini и N. Lakshmidēvi [44] обнаружили в метиловом экстракте листьев паслена сладко-горького антиоксидантную активность по методу с ABTS – в среднем 86 %, в хлороформном экстракте с DPPH – в среднем 78 %. В исследовании [61] в метиловом экстракте листьев томата с ABTS зафиксировали – в среднем 75 %, с DPPH – в среднем 44 %. Корейский ученый К. J. Lee с соавторами [62] установил антиоксидантную активность в этиловом экстракте листьев томата с ABTS – примерно 35 %, с DPPH – примерно 30 %. В работе [63] показаны значения антиоксидантной активности в этиловом экстракте листьев паслена черного с ABTS – 30 %, с DPPH – 25 %. Различия между полученными нами результатами и данными других исследователей могут быть обусловлены применением разных методик. В других исследованиях использовались экстракты, полученные с применением различных растворителей, в то время как в настоящем исследовании оценивалась антиоксидантная активность листьев.

Проведенные исследования выявили умеренную положительную корреляцию между антиоксидантной активностью и содержанием флавоноидов, хлорофилла, каротиноидов и летучих органических соединений. Листья паслена сладко-горького, характеризующиеся высоким содержанием указанных веществ, показали

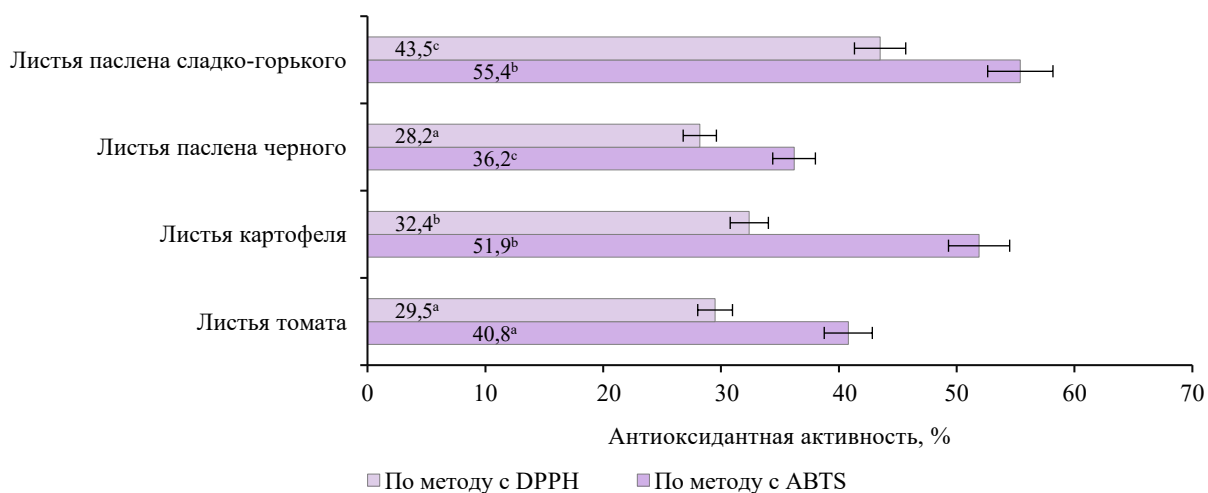


Рисунок 6. Антиоксидантная активность исследуемых образцов пасленовых растений (различия в буквенных индексах показывают достоверность различий между растениями (в пределах одного исследуемого параметра), рассчитанную методом ANOVA с апостериорным критерием Шеффе.

При отсутствии достоверных различий буквенный индекс одинаков)

Figure 6. Antioxidant activity of nightshade leaves: different superscripts mean significant difference within one parameter (ANOVA, Scheffe post hoc test)

значительную антиоксидантную активность по отношению к радикалам ABTS и DPPH в сравнении с другими образцами. Несмотря на низкое содержание данных соединений в листьях томата, их антиоксидантная активность превышала значения этого показателя у паслена черного, в листьях которого концентрация флавоноидов, хлорофилла и каротиноидов была выше. Это свидетельствует о влиянии на антиоксидантную активность не только обнаруженных веществ, но и других факторов. Роль витаминов в проявлении антиоксидантных свойств значительна, в частности витамина D [64, 65].

Наряду с высокой антиоксидантной активностью листья пасленовых характеризуются высоким содержанием витамина D. Например, в исследовании ученого R. B. Jäpelt с соавторами [36] обнаружено, что в листьях паслена воскового (*Solanum glaucophyllum* Desf.) после воздействия ультрафиолетового света витамин D содержится в количестве примерно 21 мкг/100 г сухой массы, в листьях томата (*S. lycopersicum* L.) – 9 мкг/100 г сухой массы. Иорданские исследователи Т. Aburjai с соавторами [37] обнаружили в листьях картофеля (*S. tuberosum* L.), не подвергавшихся воздействию ультрафиолета, 15 мкг/100 г сырой массы витамина D. Результаты данного исследования представлены на рисунке 7.

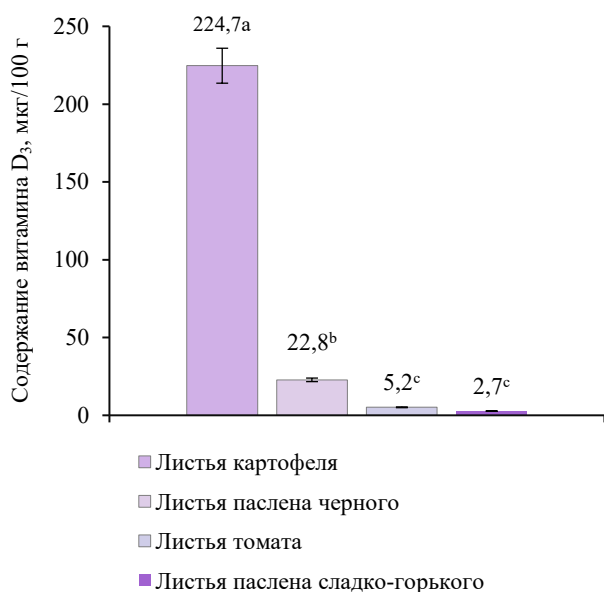


Рисунок 7. Содержание витамина D₃ в исследуемых образцах пасленовых растений (различия в буквенных индексах показывают достоверность различий между растениями (в пределах одного исследуемого параметра), рассчитанную методом ANOVA с апостериорным критерием Шеффе. При отсутствии достоверных различий буквенный индекс одинаков)

Figure 7. Vitamin D₃ in nightshade leaves: different superscripts mean significant difference within one parameter (ANOVA, Scheffe post hoc test)

Наибольшее количество витамина D₃ обнаружено в сухих листьях картофеля (224,7 мкг/100 г). С учетом суточной нормы витамина D₃ (15 мкг) перспективным источником также могут выступать листья паслена черного (22,8 мкг/100 г). Таким образом, для удовлетворения суточной потребности в витамине D необходимо 6,5 г сухих листьев картофеля или 65,7 г сухих листьев паслена черного.

Выводы

Профессиональная деятельность шахтеров связана с повышенным риском развития окислительного стресса и сопутствующих ему патологий, а также респираторных, воспалительных и других заболеваний. Благодаря свойствам нейтрализовывать свободные радикалы и снижать окислительное повреждение клеток антиоксиданты играют важную роль в профилактике и облегчении протекания вышеперечисленных заболеваний у шахтеров.

В результате исследования установлено, что в листьях томата, картофеля, паслена черного и сладко-горького содержится большое количество флавоноидов (35,1; 46,5; 31,7 и 50,3 %), хлорофилла (10,1; 22,4; 13,4 и 29,9 %), каротиноидов (8,1; 19,6; 8,7 и 24,3 %). Все исследуемые образцы характеризуются богатым составом летучих органических соединений. Это свидетельствует о высокой антиоксидантной активности листьев пасленовых растений, что также подтвердил анализ антиоксидантной активности, проведенный с использованием двух групп радикалов: ABTS (антиоксидантная активность 40,8; 51,9; 36,2 и 55,4 %) и DPPH (антиоксидантная активность 29,5; 32,4; 28,2 и 43,5 %). Таким образом, наиболее перспективными источниками антиоксидантов являются листья паслена сладко-горького.

Помимо высокой антиоксидантной активности, листья пасленовых характеризуются высоким содержанием витамина D. Так, исследования показали, что витамином D₃ богаты листья картофеля и паслена черного.

Благодаря антиоксидантным свойствам и содержанию витамина D листья пасленовых растений могут стать перспективным сырьем для пищевой промышленности, специализирующейся на выпуске продукции для профилактики окислительного стресса. Показана потенциальная польза листьев пасленовых растений для поддержания здоровья шахтеров и снижения риска развития профессиональных заболеваний.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

The authors declared no potential conflict of interests regarding the research, authorship, and / or publication of this article.

Список литературы / References

1. Martelli M, Salvio G, Santarelli L, Bracci M. Shift work and serum vitamin D levels: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(15):8919. <https://doi.org/10.3390/ijerph19158919>
2. Dash S, Gupta S, Epari V, Patra PY. Association of vitamin D levels in coal miners: A case-control study. *Indian Journal of Community Medicine*. 2020;45(2):181–183. https://doi.org/10.4103/ijcm.IJCM_269_19
3. Пичхадзе Г. М., Шалыгин А. Е., Зубцов Ю. Н. Энергетические потребности горняков, занимающихся добычей угля открытым способом. *Вопросы питания*. 1987. Т. 6. С. 33–35. [Pichkhadze GM, Shalygin AE, Zubtsov YuN. Energy needs of open-pit coal miners. *Problems of Nutrition*. 1987;6:33–35. (In Russ.)]
4. Соболева О. А., Минина В. И., Торгунакова А. В., Титов Р. А., Яковлева А. А. и др. Обеспеченность витамином D работников угольных шахт в зависимости от носительства полиморфных вариантов генов VDR и GC. *Вопросы питания*. 2024. Т. 93. № 4. С. 74–83. [Soboleva OA, Minina VI, Torgunakova AV, Titov RA, Yakovleva AA, et al. Vitamin D status in connection with VDR and GC genes polymorphism in coal mining workers. *Problems of Nutrition*. 2024;93(4):74–83. (In Russ.)] <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-4-74-83>
5. Batool AI, Naveed NH, Aslam M, da Silva J, ur Rehman MF. Coal dust-induced systematic hypoxia and redox imbalance among coal mine workers. *ACS Omega*. 2020;5(43):28204–28211. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03977>
6. Balali-Mood M, Naseri K, Tahergorabi Z, Khazdair MR, Sadeghi M. Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology*. 2021;12:643972. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>
7. Chen H, Ding X, Zhang W, Dong X. Coal mining environment causes adverse effects on workers. *Frontiers in Public Health*. 2024;12:1368557. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1368557>
8. Petsonk EL, Rose C, Cohen R. Coal mine dust lung disease. New lessons from old exposure. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2013;187(11):1178–1185. <https://doi.org/10.1164/rccm.201301-0042CI>
9. Ferguson JM, Costello S, Elser H, Neophytou AM, Picciotto S, et al. Chronic obstructive pulmonary disease mortality: The diesel exhaust in miners study (DEMS). *Environmental Research*. 2020;180:108876. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108876>
10. Alter P, Baker JR, Dauletbaev N, Donnelly LE, Pistenmaa C, et al. Update in chronic obstructive pulmonary disease 2019. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2020;202(3):348–355. <https://doi.org/10.1164/rccm.202002-0370UP>
11. Milanzi EB, Gehring U. Detrimental effects of air pollution on adult lung function. *European Respiratory Journal*. 2019;54(1):1901122. <https://doi.org/10.1183/13993003.01122-2019>
12. Кудашева А. Р., Якупов Р. Р. Проблема остеопении среди работников горнодобывающего предприятия. *Медицина труда и промышленная экология*. 2011. № 8. С. 27–29. [Koudasheva AR, Yakupov RR. Osteopenia problem in workers engaged into mining industry. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2011;(8):27–29. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/OCBBGF>
13. Насонов Е. Л. Современные стратегии фармакотерапии ревматоидного артрита: место инфликсимаба. *Consilium Medicum*. 2006. Т. 8. № 8. С. 5–9. [Nasonov EL. Infliximab in modern pharmacotherapy strategies of rheumatoid arthritis. *Consilium Medicum*. 2006;8(8):5–9. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/RLSWBP>
14. Фокина А. Д., Веснина А. Д., Фролова А. С., Чекушкина Л. А., Проскурякова Л. А. и др. Биоактивные вещества геропротекторной направленности. *Техника и технология пищевых производств*. 2024. Т. 54. № 2. С. 423–435. [Fokina AD, Vesnina AD, Frolova AS, Chekushkina DY, Proskuryakova LA, et al. Bioactive anti-aging substances: Geroprotectors. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(2):423–435. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2517>
15. Faskhutdinova ER, Sukhikh AS, Le VM, Minina VI, Khelef MEA, et al. Effects of bioactive substances isolated from Siberian medicinal plants on the lifespan of *Caenorhabditis elegans*. *Foods and Raw Materials*. 2022;10(2):340–352. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-544>
16. Maury GL, Rodríguez DM, Hendrix S, Arranz JCE, Boix YF, et al. Antioxidants in plants: A valorization potential emphasizing the need for the conservation of plant biodiversity in Cuba. *Antioxidants*. 2020;9(11):1048. <https://doi.org/10.3390/antiox9111048>
17. Pérez-Gálvez A, Viera I, Roca M. Carotenoids and chlorophylls as antioxidants. *Antioxidants*. 2020;9(6):505. <https://doi.org/10.3390/antiox9060505>

18. Kim M-H, Lee S-M, An K-W, Lee M-J, Park D-H. Usage of natural volatile organic compounds as biological modulators of disease. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(17):9421. <https://doi.org/10.3390/ijms22179421>
19. Panche AN, Diwan AD, Chandra SR. Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*. 2016;5:e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
20. Ullah A, Munir S, Badshah SL, Khan N, Poulson BG, *et al.* Important flavonoids and their role as a therapeutic agent. *Molecules*. 2020;25(22):5243. <https://doi.org/10.3390/molecules25225243>
21. Dias MC, Pinto DCGA, Silva AMS. Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. *Molecules*. 2021;26(17):5377. <https://doi.org/10.3390/molecules26175377>
22. Mattioli V, Zanolin ME, Cazzoletti L, Bono R, Cerveri I. Dietary flavonoids and respiratory diseases: A population-based multi-case-control study in Italian adults. *Public Health Nutrition*. 2020;23(14):2548–2556. <https://doi.org/10.1017/S1368980019003562>
23. Rees A, Dodd GF, Spencer JPE. The effects of flavonoids on cardiovascular health: A review of human intervention trials and implications for cerebrovascular function. *Nutrients*. 2018;10(12):1852. <https://doi.org/10.3390/nu10121852>
24. Li R-L, Wang L-Y, Liu S, Duan H-X, Zhang Q, *et al.* Natural flavonoids derived from fruits are potential agents against atherosclerosis. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9:862277. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.862277>
25. Martiniakova M, Babikova M, Mondockova V, Blahova J, Kovacova V, *et al.* The role of macronutrients, micronutrients and flavonoid polyphenols in the prevention and treatment of osteoporosis. *Nutrients*. 2022;14(3):523. <https://doi.org/10.3390/nu14030523>
26. Xiong H-H, Lin S-Y, Chen L-L, Ouyang K-H, Wang W-J. The interaction between flavonoids and intestinal microbes: A review. *Foods*. 2023;12(2):320. <https://doi.org/10.3390/foods12020320>
27. Martins T, Barros AN, Rosa E, Antunes L. Enhancing health benefits through chlorophylls and chlorophyll-rich agro-food: A comprehensive review. *Molecules*. 2023;28(14):5344. <https://doi.org/10.3390/molecules28145344>
28. Crupi P, Faienza MF, Naeem MY, Corbo F, Clodoveo ML, *et al.* Overview of the potential beneficial effects of carotenoids on consumer health and well-being. *Antioxidants*. 2023;12(5):1069. <https://doi.org/10.3390/antiox12051069>
29. Ebrahimi P, Shokramraji Z, Tavakkoli S, Mihaylova D, Lante A. Chlorophylls as natural bioactive compounds existing in food by-products: A critical review. *Plants*. 2023;12(7):1533. <https://doi.org/10.3390/plants12071533>
30. Johra FT, Bepari AK, Bristy AT, Reza HM. A mechanistic review of β -carotene, lutein, and zeaxanthin in eye health and disease. *Antioxidants*. 2020;9(11):1046. <https://doi.org/10.3390/antiox9111046>
31. Lenis-Rojas OA, Robalo MP, Tomaz AI, Carvalho A, Fernandes AR, *et al.* Ru^{II}(*p*-cymene) compounds as effective and selective anticancer candidates with no toxicity in vivo. *Inorganic Chemistry*. 2018;57(21):13150–13166. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.8b01270>
32. Du Y, Luan J, Jiang RP, Liu J, Ma Y. Myrcene exerts anti-asthmatic activity in neonatal rats via modulating the matrix remodeling. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*. 2020;34:1–10. <https://doi.org/10.1177/2058738420954948>
33. Кригер О. В., Шепель Е. И. Влияние способа получения экстрактов цветков бархатцев распростертых (*Tagetes patula* L.) на содержание биологически активных веществ и антимикробную активность. *Food Metaengineering*. 2024. Т. 2. № 2. С. 22–34. [Kriger OV, Shepel EI. The effect of the preparation method on the content of biologically active substances and antimicrobial activity of extracts of marigold flowers (*Tagetes patula* L.). *Food Metaengineering*. 2024;2(2):22–34. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37442/fme.2024.2.49>
34. Оганесянц Л. А., Панасюк А. Л., Кузьмина Е. И., Свиридов Д. А., Ганин М. Ю. и др. Изотопная масс-спектрометрия как инструмент идентификации томатов (*Solanum lycopersicum* L.). *Техника и технология пищевых продуктов*. 2023. Т. 53. № 3. С. 612–620. [Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuzmina EI, Sviridov DA, Ganin MYu, *et al.* Isotope mass spectrometry as a tool for identifying organic tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(3):612–620. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2461>
35. Wang C, Li M, Duan X, Abu-Izneid T, Rauf A, *et al.* Phytochemical and nutritional profiling of tomatoes; Impact of processing on bioavailability – A comprehensive review. *Food Reviews International*. 2022;39(8):5986–6010. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2097692>
36. Jäpelt RB, Silvestro D, Smedsgaard J, Jensen PE, Jakobsen J. Quantification of vitamin D₃ and its hydroxylated metabolites in waxy leaf nightshade (*Solanum glaucophyllum* Desf.), tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*. 2012;138(2–3):1206–1211. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.064>
37. Aburjai T, Al-Khalil S, Abuirjeie M. Vitamin D₃ and its metabolites in tomato, potato, egg plant and zucchini leaves. *Phytochemistry*. 1998;49(8):2497–2499. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(98\)00246-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00246-5)
38. Chen X, Dai X, Liu Y, Yang Y, Yuan L, *et al.* *Solanum nigrum* Linn.: An insight into current research on traditional uses, phytochemistry, and pharmacology. *Frontiers in Pharmacology*. 2022;13:918071. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.918071>
39. Ostreikova TO, Kalinkina OV, Bogomolov NG, Chernykh IV. Glycoalkaloids of plants in the family Solanaceae (nightshade) as potential drugs. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2022;56(7):948–957. <https://doi.org/10.1007/s11094-022-02731-x>

40. Кузьмичева Н. А. Фитохимический анализ семян пажитника сеного. Вестник фармации. 2017. № 2. С. 23–31. [Kuzmichova NA. Phytochemical analysis of fenugreek seeds. Pharmacy Bulletin. 2017;(2):23–31. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ZEWGHF>
41. Butnariu M. Methods of analysis (extraction, separation, identification and quantification) of carotenoids from natural products. Journal of Ecosystem & Ecography. 2016;6(2):100193 <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000193>
42. Работягов В. Д., Палий А. Е., Федотова И. А. Изучение биологически активных веществ у лавандина (*Lavandula x intermedia emeric ex Loisel*). Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2018. № 126. С. 55–61. [Rabotyagov VD, Paliy AE, Fedotova IA. Study of biologically active substances of *Lavandula x intermedia emeric ex Loisel*. Bulletin of SNBG. 2018;(126):55–61. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.126.2018.08>
43. Воробьева Е. Е., Минина В. И., Соболева О. О., Милентьева И. С., Неверова О. А. Создание функционального творожного продукта с добавлением нетрадиционного сырья. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84. № 4. С. 80–88. [Vorobeve EE, Minina VI, Soboleva OA, Milentyeva IS, Neverova OA. Creation of a functional curd product with the addition of non-traditional raw materials. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2022;84(4):80–88. (In Russ.)] <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-4-80-88>
44. Lakshmidhevi N, Priyadarshini MR. Evaluation of phytochemicals and validation of antioxidant potential of wild solanum species from Mysore District, Karnataka, India. International Journal of Pharmacy and Biological Sciences-IJPBSTM. 2022;12(4):141–155.
45. Nawrocka J, Szymczak K, Skwarek-Fadecka M, Małolepsza U. Toward the analysis of volatile organic compounds from tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) treated with *Trichoderma virens* or/and *Botrytis cinerea*. Cells. 2023;12(9):1271. <https://doi.org/10.3390/cells12091271>
46. Arafa RA, Kamel SM, Taher DI, Solberg SØ, Rakha MT. Leaf extracts from resistant wild tomato can be used to control late blight (*Phytophthora infestans*) in the cultivated tomato. Plants. 2022;11(14):1824. <https://doi.org/10.3390/plants11141824>
47. Agho CA, Runno-Paurson E, Tähtjärv T, Kaurilind E, Niinemets Ü. Variation in leaf volatile emissions in potato (*Solanum tuberosum*) cultivars with different late blight resistance. Plants. 2023;12(11):2100. <https://doi.org/10.3390/plants12112100>
48. Cara N, Piccoli PN, Bolcato L, Marfil CF, Masuelli RW. Variation in the amino acids, volatile organic compounds and terpenes profiles in induced polyploids and in *Solanum tuberosum* varieties. Phytochemistry. 2020;180:112516. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112516>
49. Aburjai TA, Oun IM, Auzi AA, Hudaib MM. Volatile oil constituents of fruits and leaves of *Solanum nigrum* L. growing in Libya. Journal of Essential Oil-Bearing Plants. 2014;17(3):397–404. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.895194>
50. Yamashita H. Biological function of acetic acid-improvement in obesity and glucose tolerance by acetic acid in type 2 diabetic rats. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016;56(1):171–175. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1045966>
51. Cortesia C, Vilchêze C, Bernut A, Contreras W, Gómez K, et al. Acetic acid, the active component of vinegar, is an effective tuberculocidal disinfectant. mBio. 2014;5(2):e00013–14. <http://dx.doi.org/10.1128/mBio.00013-14>
52. Seki T, Morimura S, Tabata S, Tang Y, Shigematsu T, et al. Antioxidant activity of vinegar produced from distilled residues of the Japanese liquor shochu. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008;56(10):3785–3790. <https://doi.org/10.1021/jf073040w>
53. Masyita A, Mustika SR, Dwi AA, Yasir B, Rumata NR, et al. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. Food Chemistry: X. 2022;13:100217. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>
54. Islam MT, Ali ES, Uddin SJ, Shaw S, Islam MdA, et al. Phytol: A review of biomedical activities. Food and Chemical Toxicology. 2018;121:82–94. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.08.032>
55. Aparna V, Dileep KV, Mandal PK, Karthe P, Sadasivan Ch, et al. Anti-inflammatory property of n-hexadecanoic acid: Structural evidence and kinetic assessment. Chemical Biology & Drug Design. 2012;80(3):434–439. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0285.2012.01418.x>
56. Bermúdez MA, Pereira L, Fraile C, Valerio L, Balboa MA, et al. Roles of palmitoleic acid and its positional isomers, hypogeic and sapienic acids, in inflammation, metabolic diseases and cancer. Cells. 2022;11(14):2146. <https://doi.org/10.3390/cells11142146>
57. Takahashi H, Kamakari K, Goto T, Hara H, Mohri S, et al. 9-Oxo-10(E),12(Z),15(Z)-octadecatrienoic acid activates peroxisome proliferator-activated receptor α in Hepatocytes. Lipids. 2015;50(11):1083–1091. <https://doi.org/10.1007/s11745-015-4071-3>
58. Zhong N, Han P, Wang Y, Zheng C. Associations of polyunsaturated fatty acids with cardiovascular disease and mortality: A study of NHANES database in 2003–2018. BMC Endocrine Disorders. 2023;23(1):185. <https://doi.org/10.1186/s12902-023-01412-4>

59. Li L, Wang P, Jiao X, Qin S, Liu Zh, *et al.* Fatty acid esters of hydroxy fatty acids: A potential treatment for obesity-related diseases. *Obesity Reviews*. 2024;25(6):e13735. <https://doi.org/10.1111/obr.13735>
60. Mlynarska E, Hajdys J, Czarnik W, Fularski P, Leszto K, *et al.* The role of antioxidants in the therapy of cardiovascular diseases – A literature review. *Nutrients*. 2024;16(16):2587. <https://doi.org/10.3390/nu16162587>
61. Taie H, Abd-Alla HI, Ali S, Aly HH. Chemical composition and biological activities of two *Solanum tuberosum* cultivars grown in Egypt. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2015;7(6):311–320.
62. Lee KJ, Lee G-A, Ma K-H, Raveendar S, Cho Y-H, *et al.* Chemical constitutions and antioxidant activities of tomato leaf extracts. *Plant Breeding and Biotechnology*. 2016;4:362–372. <https://doi.org/10.9787/PBB.2016.4.3.362>
63. Kudale S, Ghatge S, Shivekar A, Sule C, Desai N. Comparative study of antioxidant potential in hairy roots and field grown roots of *Solanum nigrum* L. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2016;5(8):42–54. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.508.005>
64. Vázquez-Lorente H, Herrera-Quintana L, Jiménez-Sánchez L, Fernández-Perea B, Plaza-Díaz J. Antioxidant functions of vitamin D and CYP11A1-derived vitamin D, tachysterol, and lumisterol metabolites: Mechanisms, clinical implications, and future directions. *Antioxidants*. 2024;13(8):996. <https://doi.org/10.3390/antiox13080996>
65. Brancaccio M, Mennitti C, Cesaro A, Fimiani F, Vano M, *et al.* The biological role of vitamins in athletes' muscle, heart and microbiota. *International Journal of Environmental Research Public Health*. 2022;19(3):1249. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031249>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2566>
<https://elibrary.ru/EFPCUF>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Молотковые зернодробилки: классификация и методика оценки эффективности



А. А. Мезенов^{1,*}, Н. Н. Григорев¹, Н. И. Кашеваров²

¹ Новосибирский государственный аграрный университет^{ROR}, Новосибирск, Россия

² Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Краснообск, Россия

Поступила в редакцию: 26.09.2024

Принята после рецензирования: 20.11.2024

Принята к публикации: 01.12.2024

*А. А. Мезенов: artemnsau@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-6513-6414>

Н. Н. Григорев: <https://orcid.org/0000-0001-8357-0620>

Н. И. Кашеваров: <https://orcid.org/0009-0003-3207-483X>

© А. А. Мезенов, Н. Н. Григорев, Н. И. Кашеваров, 2025



Аннотация.

Измельчение зерна в технологии получения концентрированных комбикормов является одной из сложнейших и энергозатратных технологических операций. Производители молотковых дробилок зерна предоставляют только техническую характеристику машин, не дополняя ее основными технологическими и экономическими показателями работы, что вызывает трудности при приобретении зернодробилок. Цель исследования – уточнение классификации молотковых зернодробилок и разработка методики оценки их эффективности.

Объектами исследования послужили конструктивные и технико-экономические показатели молотковых дробилок сельскохозяйственного назначения. Применили расчетный и аналитический методы оценки показателей удельных металлоемкости и энергозатрат, характеризующих совершенство конструкции и технологической схемы, эффективность работы существующих зернодробилок. Основу исследования составили технико-экономические показатели российских и зарубежных молотковых дробилок, выделенных по типу загрузки рабочей камеры на механические и пневматические.

Проведенный анализ конструкций и технико-экономических показателей пневматических и механических молотковых дробилок позволил составить их классификацию по конструкции, виду рабочей камеры, количеству стадий, способу подачи материала, ориентированию вала ротора, наличию решет и дек, количеству дисков и способу отвода материала из камеры измельчения. Составлена таблица, в которой наиболее полно на сегодняшний день отражены технико-экономические показатели для разных типов и марок дробилок. Для оценки эффективности применения пневматических и механических зернодробилок предложено ввести комплексный показатель совершенства молотковой дробилки, который учитывает удельную металлоемкость и удельные энергозатраты. Расчет показателя для пневматических и механических типов молотковых дробилок производительностью до 1, 1–3, 3–5, 5–10, более 10 т определил диапазон его значения от 0,1 до 2,22 (кВт·ч×т_м)/т, при этом для более эффективной зернодробилки он принимает наименьшее значение.

Введение комплексного показателя совершенства конструкции дробилки позволяет упростить выбор зернодробилки потребителем. Методика выбора может опираться на графическое представление данного показателя. Результаты проведенного исследования позволили определить направления совершенствования конструкции молотковых дробилок.

Ключевые слова. Зерно, дробление зерна, молотковая дробилка, пневматическая молотковая дробилка, механическая молотковая дробилка, энергоэффективность, удельная металлоемкость, удельные энергозатраты, производительность

Для цитирования: Мезенов А. А., Григорев Н. Н., Кашеваров Н. И. Молотковые зернодробилки: классификация и методика оценки эффективности. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 214–225. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2566>

Hammer Grain Crushers: Classification and Efficiency Assessment

Artem A. Mezenov^{1,*}, Nikolai N. Grigorev²,
Nikolai I. Kashevarov²

¹ Novosibirsk State Agricultural University^{}, Novosibirsk, Russia

² Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

Received: 26.09.2024
Revised: 20.11.2024
Accepted: 01.12.2024

*Artem A. Mezenov: artemnsau@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-6513-6414>
Nikolai N. Grigorev: <https://orcid.org/0000-0001-8357-0620>
Nikolai I. Kashevarov: <https://orcid.org/0009-0003-3207-483X>

© A.A. Mezenov, N.N. Grigorev, N.I. Kashevarov, 2025



Abstract.

Grain milling is one of the most complex and energy-consuming procedures in the technology of concentrated mixed fodders. Unfortunately, manufacturers provide hammer grain crushers only with technical characteristics, supplying neither technological nor economic performance indicators, which makes it difficult for consumers to select the optimal machine. The article introduces a classification of hammer grain crushers and a methodology for assessing their energy efficiency. The design, technical, and economic indicators of agricultural hammer crushers were obtained by calculation and analysis of specific metal intensity and energy consumption. The data pool consisted of technical and economic indicators of domestic and foreign hammer crushers, divided into mechanical and pneumatic ones by the type of loading. The classification relied on the following properties: the type of design, working chamber, feeding, removal, and orientation of the rotor shaft; the presence or absence of grates and decks; the number of stages and discs. The classification was structured as a table of technical and economic indicators for different types and brands. The authors introduced a complex performance index to assess the efficiency of pneumatic and mechanical grain crushers. It took into account the metal consumption and energy consumption. For pneumatic and mechanical hammer crushers with a productivity of ≤ 1 , 1–3, 3–5, 5–10, and ≥ 10 t, the index varied from 0.1 to 2.22 (kWt/h/t_m)/t: the more efficient the crusher, the lower the index value. The complex performance index and its graphical representation simplify the selection procedure for the consumer. The results obtained demonstrate the improvement prospects for hammer crushers design.

Keywords. Grain, grain crushing, hammer crusher, pneumatic hammer crusher, mechanical hammer crusher, energy efficiency, specific metal consumption, specific energy consumption, performance

For citation: Mezenov AA, Grigorev NN, Kashevarov NI. Hammer Grain Crushers: Classification and Efficiency Assessment. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):214–225. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2566>

Введение

Продуктивные качества и здоровье животных зависят от кормовой базы и организации кормления на 60 %. Полноценность кормления обуславливается сбалансированностью рационов, которые в течение всего периода жизни животных должны удовлетворять их потребности в питательных, минеральных веществах и витаминах.

В животноводстве в кормлении животных, птиц и рыб повсеместно используют специальные комбинированные корма, требования к качеству которых постоянно растут [1]. В первую очередь это относится к питательности кормов, улучшению их санитарного состояния, эффективному использованию сырьевых

ресурсов [2]. Использование кормов низкого качества приведет как к снижению продуктивности животных, так и к увеличению удельных затрат на производство животноводческой продукции.

Основным ингредиентом для производства комбикормов сельскохозяйственных животных является фуражное зерно злаковых культур. Сельскохозяйственному предприятию экономически выгодно производить концентрированные корма из собственных продуктов растениеводства. Для производства качественного комбикорма необходима поточно-технологическая линия, в которую входит ряд технологического оборудования, выполняющего следующие задачи: подготовка, измельчение зерна и дополнительных ингредиентов,

смешивание до однородной массы, раздача готового комбикорма. Самым энергозатратным процессом в механизации приготовления кормов является измельчение. Необходимость измельчения зерна обусловлена физиологией пищеварительной системы животных: питательные вещества и составные части измельченного продукта лучше распадаются на простые элементы, что облегчает процессы пережевывания, переваривания и переработки продукта желудочным соком.

Для качественного измельчения развитие животноводческой отрасли требует эффективное оборудование, отвечающее технологическим требованиям производства комбикормов. Сегодня при выборе оборудования для измельчения зерна определяющими факторами являются производительность, мощность, долговечность, возможность интегрирования в технологическую линию, цена. Требования к измельчающим машинам зависят от рецептуры комбикорма, его гранулометрического состава. Сельхозтоваропроизводители вынуждены постоянно изучать рынок оборудования для подбора технически и технологически совершенных машин, обеспечивающих требуемый размер целевой фракции для корма, при этом выбранное оборудование должно иметь быструю окупаемость финансовых вложений. Как правило, в открытых источниках приводится рекламная информация о характеристиках измельчающих зернодробилок, а существующая классификация содержит большое количество параметров, что значительно осложняет анализ и выбор при приобретении измельчителя животноводческими предприятиями.

С целью получения продукции заданного качества и снижения удельных энергозатрат в настоящее время применяются различные способы измельчения материала механическим воздействием рабочих органов [3–6]. Выбор способа определяется рядом факторов: технологическими (физико-механические свойства исходного материала, предварительная подготовка материала, степень и качество измельчения материала), режимными (окружная и линейная скорости рабочих органов, их величина, способ и место загрузки) и конструктивными (размеры рабочей камеры конструкции, количество рабочих органов, организация воздушного режима). Влияние данных факторов оказывает важное влияние на развитие конструктивно-технологических схем машин для измельчения материала.

При механическом способе измельчения зерна чаще всего используются два процесса: резание и дробление [7–11]. Резание является наименее энергоемким процессом. Однако сухое зерно, влажность которого составляет порядка 14 %, по физико-механическим свойствам сравнимо с абразивным материалом, из-за чего происходит интенсивный износ ножей, что и ограничивает использование способа резания. Дробление обуславливается способностью материала разрушаться под многократным ударным воздействием путем создания новых и развития уже имеющихся трещин. В большинстве случаев фуражное зерно измельчают ударами

и раздавливанием с применением других видов разрушения, в зависимости от конструктивных особенностей измельчителя и требуемого гранулометрического состава, и промежуточным просеиванием продуктов измельчения. При динамическом нагружении зерна напряжение вдвое больше, чем при статическом. Динамическое нагружение возможно реализовать в дробилках ударного действия. Дробление материала ударным разрушением в молотковой дробилке обеспечивает более высокую эффективность по сравнению с раздавливанием в щековых или конусных дробилках.

Таким образом, в технологических линиях по приготовлению кормов для животных в основном применяются дробилки ударного действия, а именно молотковые. Но при использовании дробилок данного типа потребитель зачастую также сталкивается с рядом проблем. Возникающие проблемы имеют как качественный, так и количественный характер, а их решение возможно лишь посредством устранения основных недостатков молотковых дробилок (повышенное содержание пылевидной фракции, неоднородность гранулометрического состава, относительно высокие удельные энергозатраты технологического процесса измельчения).

Цель исследования – уточнение классификации молотковых зернодробилок и разработка методики оценки их эффективности.

Задачи научного исследования:

- проанализировать существующие виды молотковых дробилок, составить их классификацию;
- определить технико-экономические показатели удельной металлоемкости, удельных энергозатрат, затрат энергии на работу молотковой дробилки;
- предложить методику оценки эффективности молотковых дробилок, учитывающую основные показатели, выявить наиболее эффективные.

Объекты и методы исследования

Существующая классификация охватывает все зернодробилки без выделения пневматических, отличительной чертой которых является всасывающе-нагнетательный принцип работы. Дробилки данного типа обладают рядом преимуществ:

- отсутствие дополнительных транспортеров и транспортных лент;
- отсутствие дополнительных узлов в приводе;
- отсутствие в дробильном барабане дополнительных устройств, замедляющих процесс измельчения;
- наличие в конструкции сепаратора для выделения металлических и минеральных примесей;
- большое количество предприятий по производству пневматических дробилок российского и иностранного производства;
- достаточная производительность для работы в составе малогабаритных комбикормовых заводов.

С целью составления классификации зернодробилок проведен технико-экономический анализ устройств, выпускаемых в мире. Несмотря на большое количе-

ство параметров, характеризующих работу молотковых дробилок, можно выделить два основных типа – с механической и пневматической подачей зерна в камеру дробления.

Дробилки с механической подачей измельчаемого материала загружают зерно в зависимости от принятой конструктивной особенности через верхний, боковой и радиальный патрубок. Загрузка может быть организована самотеком или с помощью питателя. В случае подачи материала на измельчение самотеком производительность регулируется открытием заслонки, а питателем – скоростью работы нагнетающего устройства. Попадая в рабочую зону, зерно вовлекается в круговое движение молотковым ротором, где под действием молотков, деки и решета измельчается.

Простота в обслуживании и надежность в эксплуатации послужили широкому выпуску дробилок с механической подачей различными российскими или зарубежными производителями. Большинство из них универсальны и используются для измельчения различных культур до требуемого гранулометрического размера в зависимости от зоотехнических требований к комбикорму. Достоинствами таких дробилок являются простая конструкция, компактность, универсальность, возможность регулирования степени измельчения путем замены решета, возможность подбора производительности в широких диапазонах. К основным недостаткам можно отнести высокий расход электроэнергии, затрачиваемой не только на измельчение, но и на подачу исходного продукта в камеру дробления с последующим отводом, наличие в готовом продукте как переизмельченного, так и целого зерна, быстрый износ молотков, решета и дек дробилки.

Пневматические дробилки осуществляют загрузку исходного материала за счет создания вентилятором разрежения и выгрузку измельченного продукта под давлением воздуха. Материал для измельчения поступает в камеру дробления через центральный патрубок и подвергается измельчению, степень измельчения регулируется сепарирующей поверхностью в виде сменных решет с различным диаметром отверстий, установленных с охватом ротора на 360°. На сегодняшний день на рынке представлены пневматические дробилки

различных производителей как отдельный агрегат или в составе поточно-технологической линии, при этом сохраняются достоинства молотковых дробилок с механической подачей и минимизацией их основных недостатков. Одним из главных факторов, сдерживающим замещение дробилок с механической подачей зерна, являются более высокие энергозатраты на измельчение у пневматических дробилок. Несмотря на приведенный недостаток, применение пневматических дробилок в поточно-технологических линиях производства кормов для животных становится экономически выгодным за счет отсутствия необходимости в дополнительных устройствах для загрузки измельчаемого материала в дробилку с расстояния до 20 м и транспортировки продуктов дробления на последующие технологические операции.

Выбор предприятием молотковой дробилки с механической или пневматической подачей зерна не очевиден с точки зрения выполняемой технологической функции и требует всестороннего анализа и расчета, охватывающего технологические, энергетические и конструктивные параметры.

В таблице 1 представлены формулы для технико-экономических показателей удельной металлоемкости и удельных энергозатрат на основе производительности, а также энергии, затрачиваемой на работу машины.

На современном этапе развития техники и технологии молотковые дробилки для измельчения зерна однообразны, а принцип их действия – разрушение зернового материала путем удара и истирания. Молотковые дробилки, выпускаемые на сегодняшний день, имеют значительное количество модификаций (кинематические, технологические и конструктивные). Несмотря на широкий ассортимент выпускаемых молотковых зернодробилок, каждая имеет определенный набор рабочих органов: молотки, ротор, диски ротора, деки, решета. Отличительными характеристиками молотковых дробилок у разных производителей с одинаковой или близкой конструкцией является размер ротора, конструкция рабочих органов, размер и толщина ударных элементов, величина радиального зазора между молотками и поверхностью решета, тип питающего механизма, наличие деки, устройство для отвода

Таблица 1. Основные показатели энергоэффективности зернодробилок

Table 1. Energy efficiency of grain crushers

Наименование	Обозначение	Формула	Единица измерения
Производительность	Q	–	т/ч
Энергия, затрачиваемая на работу	E	–	кВт×ч
Масса дробилки	m	–	т _м
Удельные энергозатраты	$E_{уд}$	$E_{уд} = \frac{E}{Q}$	(кВт×ч)/т
Удельная металлоемкость	$m_{уд}$	$m_{уд} = \frac{m}{Q}$	(т _м ×ч)/т

продуктов измельчения, наличие вентилятора и др. конструктивные особенности. При этом указываются только стандартные показатели молотковых дробилок: производительность, энергия, затрачиваемая на измельчение тонны зерна, и масса оборудования. Этой информации недостаточно для выбора молотковой дробилки, т. к. она носит только ознакомительный характер и не позволяет оценить измельчитель.

Проведенный анализ технико-экономических показателей зернодробилок обуславливает целесообразность поиска обобщенной характеристики, которая позволила бы упростить выбор измельчителей зерна по этим показателям. Поэтому для оценки эффективности молотковой дробилки предлагается ввести комплексный показатель совершенства конструкции зернодробилки (K_n , (кВт×ч× T_m)/т), который учитывает как удельную металлоемкость, так и удельные энергозатраты:

$$K_n = E_{уд} \times m_{уд}$$

где $E_{уд}$ – удельные энергозатраты, (кВт×ч)/т; $m_{уд}$ – удельная металлоемкость, (T_m ×ч)/т.

Результаты и их обсуждение

На основании анализа изученных материалов и методов составлена классификация молотковых дробилок. Классификация дополнена таблицей значений технико-экономических показателей, рассчитанных для современных молотковых дробилок. Содержание приведенной таблицы позволяет проводить сравнение технико-экономических показателей, анализировать их эффективность по разным параметрам.

По виду рабочей камеры различают три типа молотковых дробилок, отличающихся по технологическому процессу дробления: открытый, полукоткрытый и закрытый. В дробилках открытого типа материал в дро-

Таблица 2. Классификация молотковых дробилок

Table 2. Classification of hammer crushers

Признак	Вид					
Вид рабочей камеры	 Закрытые					
	 Полуоткрытые					
	 Открытые					
Количество стадий	 Одностадийные					
	 Двухстадийные					
Способ подачи материала	 Самотеком	 Тангенциальная	 Радиальная	 Центральная	 Левая	
	 Принудительно				 Правая	
	 Комбинированно				Боковая	
Ориентация вала ротора	 Горизонтальное расположение					
	 Вертикальное расположение					
Наличие решет	 Решетные					
	 Безрешетные	 Без разделительной камеры				
		 С разделительной камерой				
Наличие деки	 Без деки					
	 С декой					
Количество дисков для крепления рабочих органов	 Однодисковые					
	 Многодисковые					

бильной камере подвергается ударному воздействию молотков или молотков и дек, в результате полученная измельченная смесь широкого размерного диапазона быстро удаляется, не замыкая при перемещении окружности. Совершенствование дробилок открытого типа направлено на включение в конструкцию различных видов сепараторов.

Дробилка закрытого типа организует циркуляцию материала в камере, в которой, помимо молотков и дек, установлено решето, регулирующее степень измельчения. Производительность дробилок закрытого типа ограничивается сепарирующей поверхностью решета, вследствие чего длительность измельчения зависит от времени доведения частиц дробленого продукта до размера прохода через решето, что приводит к увеличению пылевидной фракции и энергозатрат на измельчение.

Дробилки полукрытого типа расположены близко к дробилкам закрытого типа: имеют решето с частичным проходом продуктов дробления и выпускное отверстие с запирающим устройством, регулирующим время нахождения продукта в камере измельчения.

По количеству стадий выделяют одно и двухстадийные конструкции. Дробилки с механической подачей имеют конструктивную возможность реализовывать измельчение одной и двумя стадиями. В первом случае измельчение осуществляется молотками и деками с последующей сепарацией продуктов дробления через решето, во втором случае конструкция дробилки представляет собой две и более ступени измельчения: предварительную и окончательную. В зависимости от конструктивных элементов в каждую из ступеней входят измельчающий молотковый ротор и сепаратор или на первой ступени – измельчающий рабочий орган, а на завершающей – молотковый ротор и сепаратор.

Применение пневматических молотковых дробилок возможно как при одностадийном измельчении (в этом случае воздушный поток протягивает поступающий материал в камеру для измельчения и выгрузки продуктов дробления), так и двухстадийном. Организация второй стадии осуществляется при наличии разделительной камеры, из которой крупная фракция возвращается на доизмельчение. Организация двухстадийного измельчения на пневматической молотковой дробилке предпочтительнее, т. к. не требует установки дополнительного рабочего органа и сепаратора, увеличивающих энергозатраты на измельчение и металлоемкость конструкции.

По способу подачи материала выделяют самотек, принудительный и комбинированный способы. При подаче материала самотеком зерно поступает из бункера над дробилкой. При такой конструкции материал практически не подвергается воздействию молотков под загрузочным отверстием в момент поступления в дробильную камеру, а попадает под воздействие воздушного продуктового слоя и оттесняется к деке или решету. Таким образом траектория

движения зерна до встречи с молотком удлиняется, что снижает производительность и увеличивает энергозатраты дробилки.

Принудительно зерно подается в дробильную камеру с помощью механических питателей (в большинстве случаев шнековым или роторным). При движении зернового материала происходит трение, в результате которого образуется пылевидная фракция, что приводит к потерям продукции и увеличению нагрузки на молотковый ротор. Необходимо осуществлять контроль для поддержания уровня зерна в загрузочной воронке. Если подача материала над питателем непостоянная, то скорость заполнения его рабочего органа может значительно отклоняться, что, в свою очередь, становится причиной больших колебаний массовой скорости подачи в дробилку. Получающаяся в результате непостоянная скорость подачи зернового материала в рабочую камеру создает нежелательные расхождения в процессе измельчения и может повлечь большие потери производительности.

Другой вариант принудительной подачи – загрузка воздушным потоком вентилятора, установленным за молотковым ротором. Такая конструкция позволяет дополнительно установить сепаратор на крышке дробилки для удаления крупных минеральных примесей и пылевых фракций исходного материала. В конструкцию сепаратора так же входит магнит, улавливающий и отделяющий металлические примеси из исходного продукта.

Нагнетаемый поток воздуха, поступающий вместе с зерном, выполняет следующие функции:

1. Контроль температуры продукта во время измельчения. При измельчении материала наблюдается повышение температуры продукта. Чтобы предотвратить ухудшение качества продукта, тепло должно передаваться в воздушный поток. Температуру необходимо поддерживать ниже максимального уровня и предпочтительно в небольшом заданном диапазоне.

2. Оптимизация производительности дробилки. Уменьшение или увеличение скорости потока воздуха может снизить производительность измельчителя. Входящий поток воздуха в сочетании с подачей материала следует по заранее определенному пути внутри дробилки. Цель состоит в том, чтобы использовать турбулентность в потоке воздуха для оптимизации удара материала о молотки (молотки и деки) и истирания материала о материал. Снижение скорости воздушного потока может привести к чрезмерному накоплению продукта внутри дробилки, что приведет к высоким энергетическим затратам и повышенным нагрузкам на рабочие органы измельчителя.

3. Прохождение материала заданного гранулометрического состава через сита. Нагнетаемый поток воздуха (с некоторой помощью вращающихся молотков) обеспечивает дифференциальное давление и массовый расход-среду, необходимые для протягивания материала заданного размера через сита. Значение

скорости воздушного потока является основным показателем эффективности дробления. Уменьшение скорости потока воздуха приведет к нежелательному уменьшению размера частиц, в то время как увеличение скорости потока воздуха выдавит через отверстия сита материал большего размера, чем требуется.

4. Обеспечение транспортировки продуктов дробления воздушным потоком. Уровня нагнетаемого воздушного потока также достаточно для транспортировки измельченного материала в технологическое оборудование поточно-технологической линии производства комбикормов.

Комбинированный способ реализуется только в дробилках с механической подачей и за счет установки шнекового питателя в горловине загрузочного бункера.

Большое влияние оказывает расположение загрузочной горловины для ввода материала в дробилку, различают тангенциальное, радиальное, центральное и боковое расположение. Радиальная подача реализуется в конструкциях с вертикальным расположением вала, а тангенциальная, центральная и боковая подачи – с горизонтальным валом. При центральной загрузке дробильной камеры возможна установка решета с углом охвата $90\text{--}360^\circ$, при радиальной загрузке зерна угол охвата – $120\text{--}360^\circ$.

Анализ современных применимых на производстве дробилок показал, что единого конструктивного решения по выбору способа подачи не существует. Практический опыт заводов производителей требует использования того или иного варианта подачи.

Возможны два варианта ориентации ротора измельчителя – горизонтальный и вертикальный. При горизонтальном расположении молоткового ротора наблюдается неравномерный выход продуктов дробления через решето, а наиболее интенсивное просеивание осуществляется в нижней части решета, что приводит к истиранию его материала и препятствует своевременному выходу измельченных частиц из камеры дробления. В результате пропускная способность дробилки уменьшается.

Вертикальное расположение ротора позволяет производить вывод измельченного материала как через боковую поверхность сита, так и через перфорированное днище, что способствует уменьшению времени нахождения измельчаемого продукта в рабочей камере и появлению пылевой фракции. Такая конструкция дробилки позволяет вводить материал через несколько загрузочных патрубков, тем самым обеспечивая равномерную загрузку рабочей камеры. При этом наблюдается неравномерный износ молотков (по высоте сверху вниз он более интенсивный), что приводит к разбалансировке ротора и ухудшению выравниваемости гранулометрического состава дерти.

Наличие решет определяет степень измельчения и гранулометрический состав продуктов. Молотковые дробилки подразделяются на решетные и безрешетные. Роль решета в решетных молотковых дробилках

в процессе измельчения зерна немаловажна, что обусловило создание решет с отверстиями различной формы: круглой, прямоугольной и чешуйчатой. От пропускной способности решета зависит производительность и энергетические затраты на измельчение. Пропускная способность решета напрямую зависит от размера отверстий и определяется коэффициентом живого сечения, с ростом которого от 0,3 до 0,55 удельные энергетические затраты уменьшаются на 12–20 %, при этом наблюдается увеличение числа целых зерен и крупных частиц.

У зернодробилок закрытого типа угол охвата ротора решетом составляет $120\text{--}360^\circ$ и лимитируется в основном способом подачи материала в камеру дробилки. При угле охвата ротора в 360° создаются наилучшие условия для эвакуации измельченного материала. Кроме пропускной способности, решето непосредственно участвует в процессе измельчения кромками своих отверстий, оказывая скалывающее воздействие на частицы материала. Износ решета негативно влияет на расход энергии и ухудшает качество готового продукта.

Безрешетные молотковые дробилки выпускаются в небольшом ассортименте. Это объясняется тем, что дерть, получаемая при измельчении зерна на таких дробилках, имеет остаток на сите с диаметром отверстий 3–5 мм до 30 %. Принцип действия безрешетных дробилок строится на разрыве воздушно-продуктового слоя и выведении продуктов дробления из зоны работы молотков и дек в разделительную камеру или решетное сепарирующее устройство (в случае конструкции безрешетной дробилки с сепарацией). В случае конструкции безрешетных дробилок без сепарации материал выводится из рабочей камеры, не создавая замкнутый воздушно-продуктовый слой.

В молотковых дробилках сельскохозяйственного назначения возможна установка гладких, рифленых и зубовых дек. Дека в рабочей камере дробилки способствует торможению и более интенсивному измельчению частиц продукта. Применение деки эффективно только в случае радиальной подачи зерна и не играет особой роли при центральной загрузке.

Количество дисков для крепления рабочих органов зависит от конструктивных размеров рабочей камеры дробилки и подразделяется на одно и много-дисковые. Расположение шарнирно закрепленных молотков на роторе варьируется. Они крепятся по длине окружности ротора либо рядами без смещения, либо по винтовой линии, но обязательно должны перекрывать всю ширину дробильной камеры. Каждый отдельный ряд молотков входит в контакт с частицами вновь поступающего продукта лишь один раз за один оборот ротора. Таким образом, количество дисков, применяемых для крепления молотков, непосредственно влияет на производительность молотковой дробилки. Из-за конструктивных особенностей пневматические дробилки, а именно установки вентилятора за молотковым ротором, имеют однодисковое исполнение.

С механической подачей таких ограничений не возникает, потому что они могут быть выполнены с многодисковым креплением молотков.

Отвод материала после измельчения может быть осуществлен:

- самотеком;
- принудительно транспортером в зарешетном пространстве или в разделительной камере;
- воздушным потоком вентилятора, который может быть конструктивно совмещен с корпусом дробилки, установленным на валу или обособленно с фронтальным или торцевым расположением;
- воздушным потоком ротора дробилки с незамкнутым и замкнутым воздушными циклами;
- лопатками вентилятора, которые интегрируют с дробильным ротором.

Недостаток замкнутого воздушного цикла заключается в том, что попадание части пылевой фракции с воздушным потоком приводит к дополнительной нагрузке на дробильный ротор.

При механическом транспортировании готового продукта из дробилки наблюдается большой перепад давления, что приводит к переизмельчению и снижению производительности дробилки на 15–20 %.

В конструкциях, оснащенных вентилятором, отвод измельченного продукта до смесителя пневмотранспортом возможен в циклон с шлюзовым затвором, что влечет потери давления и, как следствие, переизмельчение продукта из-за несвоевременной эвакуации. При пневмотранспортировании непосредственно в смеситель без циклона образуется большое количество пыли.

Представленный анализ классификации молотковых дробилок показывает стремление разработчиков и производителей повысить технико-экономические характеристики дробилки при сохранении технологических параметров выравнивания гранулометрического состава измельченного материала и уменьшении пылевой фракции до минимума, соответствии полученного дробленого продукта зоотехническим требованиям, снижении энергоемкости процесса.

На рынке молотковые дробилки представлены российскими и зарубежными компаниями, выделим по производительности группы до 1, 1–3, 3–5, 5–10, более 10 т. Каждая группа применяется в хозяйствах в зависимости от поголовья животных. Группа до 1 т применяется на малых фермах и личных подсобных хозяйствах, группы 1–3 и 3–5 т – на средних и крупных животноводческих предприятиях как отдельная единица оборудования или в составе поточно-технологической линии комбикормового завода, группы 5–10 и более 10 т – на специализированных комбикормовых предприятиях.

Несмотря на широкое разнообразие конструктивных элементов молотковых дробилок, можно выделить объединяющую характеристику, на основании которой подразделить молотковые дробилки на механические и пневматические зернодробилки в группах с про-

изводительностью до 1, 1–3, 3–5, а группы 5–10 и более 10 т выпускаются только в механическом исполнении, исходя из этого подхода составлена таблица 3.

Рассчитанные технико-экономические показатели удельной металлоемкости и удельных энергозатрат характеризуют совершенство конструкции и технологической схемы, эффективность работы выпускаемых зернодробилок. Расчеты проводились без приведения к нормальным условиям и без учета качественных характеристик процесса измельчения. Данные показатели позволяют обоснованно подойти к выбору и покупке молотковой дробилки. Энергетический анализ наиболее распространенных молотковых зернодробилок российского и зарубежного производства (табл. 3) проведен с использованием характеристик, заявленных заводами изготовителями, а деление рассмотренных зернодробилок на условные энергетические классы выполнено по значениям их производительности.

Наилучшие показатели удельной металлоемкости и удельных энергозатрат у зернодробилок производительностью:

- до 1 т механических Ставмаш К-3 и Comfort-MK – 0,09 ($t_m \times \text{ч}$)/т, SanYuan 9FP-20C – 7,5 ($\text{кВт} \times \text{ч}$)/т, пневматических ЗДП-1 – 0,18 ($t_m \times \text{ч}$)/т, ДКР-0,9 – 8,3 ($\text{кВт} \times \text{ч}$)/т;
- 1–3 т механических ДМБ-1,1 – 0,07 ($t_m \times \text{ч}$)/т и Кубанец-1200 – 4,6 ($\text{кВт} \times \text{ч}$)/т, пневматических ДПЗ-22 – 0,09 ($t_m \times \text{ч}$)/т, ДМП-22, ДМПД-22 и ДПЗ-22 – 7,3 ($\text{кВт} \times \text{ч}$)/т;
- 3–5 т механических Molot-3000 – 0,09 ($t_m \times \text{ч}$)/т и 3,7 ($\text{кВт} \times \text{ч}$)/т, пневматических ДВР-37 – 0,08 ($t_m \times \text{ч}$)/т, ДКР-4Д-Ф – 7,3 ($\text{кВт} \times \text{ч}$)/т;
- 5–10 т механических ДМ-45, SFSP68*108 и VHM 115*40 – 0,11 ($t_m \times \text{ч}$)/т, ДМ-37 – 5,3 ($\text{кВт} \times \text{ч}$)/т;
- более 10 т механической ДМ-55 – 0,03 ($t_m \times \text{ч}$)/т и 4,8 ($\text{кВт} \times \text{ч}$)/т.

На основании данных о молотковых дробилках из открытых источников рассчитан комплексный показатель совершенства зернодробилок (K_n). Его значение находится в диапазоне 0,1–2,22 ($\text{кВт} \times \text{ч} \times t_m$)/т. Таким образом, более эффективными являются дробилки с наименьшим значением комплексного показателя эффективности у зернодробилок производительностью:

- до 1 т механической Comfort-MK – 0,74 ($\text{кВт} \times \text{ч} \times t_m$)/т, пневматической ДЗМ-0,8 – 1,13 ($\text{кВт} \times \text{ч} \times t_m$)/т;
- 1–3 т механической ДМБ-1,1 – 0,35 ($\text{кВт} \times \text{ч} \times t_m$)/т, пневматической ДМП-22 – 0,77 ($\text{кВт} \times \text{ч} \times t_m$)/т;
- 3–5 т механической Molot-3000 – 0,33 ($\text{кВт} \times \text{ч} \times t_m$)/т, пневматической ДКМП-3,0 – 3,30 ($\text{кВт} \times \text{ч} \times t_m$)/т;
- 5–10 т механической SFSP 68*108 – 0,91 ($\text{кВт} \times \text{ч} \times t_m$)/т;
- более 10 т механической ДМ-55 – 0,14 ($\text{кВт} \times \text{ч} \times t_m$)/т.

С целью получения зависимости потребляемой энергии и удельных энергозатрат молотковых дробилок от их производительности смежные условные энергетические классы были объединены графическим методом в две укрупненные группы:

1-я группа – мало- и средне производительные со значением $Q = 0,1\text{--}5$ т/ч;

2-я группа – высокопроизводительные $Q > 5$ т/ч.

Таблица 3. Техничко-энергетические показатели молотковых зернодробилок

Table 3. Technical and energy indicators of hammer grain crushers

Название	Страна производитель	Q , т/ч	E , кВт×ч	$E_{уд}$, (кВт×ч)/т	m , т _м	$m_{уд}$, (т _м ×ч)/т	K_p , (кВт×ч×т _м)/т
Механические малогабаритные зернодробилки (до 1 т)							
Ставмаш К-3	Россия	0,20	1,9	9,5	0,018	0,09	0,85
Зубр-2	Россия	0,24	2,5	10,4	0,022	0,11	1,37
Comfort-MK	Китай	0,25	2,5	10,0	0,018	0,09	0,74
Donny-3500	Украина	0,30	2,5	8,3	0,062	0,20	1,66
Спектр-3НП	Россия	0,30	3,0	10,0	0,065	0,21	2,10
SanYuan 9FP-20C	Китай	0,40	3,0	7,5	0,067	0,16	1,20
Пневматические малогабаритные зернодробилки (до 1 т)							
Ур-2,2	Россия	0,20	2,2	9,1	0,040	0,20	1,46
ДВР-7,5	Россия	0,80	7,5	9,4	0,180	0,22	2,06
ДЗМ-0,8	Украина	0,80	7,5	9,4	0,150	0,19	1,13
ДКР-0,9	Россия	0,90	7,5	8,3	0,180	0,20	1,35
М-ROL-11	Польша	1,00	11,0	11,0	0,200	0,20	1,20
ЗДП-1	Россия	1,00	11,0	11,0	0,180	0,18	1,98
Механические зернодробилки для малых фермерских хозяйств (1–3 т)							
ДМБ-1,1	Россия	1,10	5,5	5,0	0,082	0,07	0,35
Molot-1000	Россия	1,10	7,5	6,8	0,110	0,13	0,51
Кубанец-1200	Россия	1,20	5,5	4,6	0,120	0,10	0,46
РОМ-Aug.H-115	Польша	1,20	7,5	6,3	0,155	0,12	0,76
VNM 45*37	Турция	2,00	18,5	9,2	0,480	0,24	2,22
ДМР-15	Россия	3,00	15,5	5,2	0,600	0,20	1,04
Пневматические зернодробилки для малых фермерских хозяйств (1–3 т)							
ДКМП-1,6	Беларусь	1,60	15,0	9,4	0,320	0,20	1,88
ЗДП-2	Россия	2,00	18,5	9,3	0,300	0,15	1,39
М-ROL-11	Польша	2,50	22,0	8,8	0,400	0,16	1,41
ДМП-22	Россия	3,00	22,0	7,3	0,315	0,11	0,77
ДМПД-22	Россия	3,00	22,0	7,3	0,355	0,12	0,87
ДПЗ-22	Россия	3,00	22,0	7,3	0,270	0,09	0,65
Механические средне-производительные зернодробилки (3–5 т)							
Molot-3000	Россия	3,00	11,0	3,7	0,270	0,09	0,33
ДМ-15	Россия	3,90	15,0	3,8	0,535	0,13	0,49
ДМ-18	Россия	4,30	18,5	4,3	0,590	0,13	0,55
ДМР-18,5(22,5)	Россия	4,50 (5,00)	18,5 (22,5)	3,7	0,667	0,13	0,48
ДМ-22	Россия	5,00	22,5	4,5	0,723	0,14	0,63
VNM 70*40	Турция	5,00	37,0	7,4	1,040	0,20	1,48
Пневматические средне-производительные зернодробилки (3–5 т)							
ДКР-4Д-Ф	Россия	3,00	22,0	7,3	0,520	0,14	0,88
ДКМП-3,0	Беларусь	3,30	30,0	9,1	0,320	0,11	0,10
ДПМ-30	Россия	3,50	30,0	8,6	0,350	0,10	0,86
ДКМП-3,7	Беларусь	3,60	37,0	10,3	0,455	0,12	1,24
ДВР-37	Россия	4,50	37,0	8,2	0,345	0,08	0,66
ДПЗД-37	Беларусь	5,00	37,0	7,4	0,450	0,09	0,67
Механические высокопроизводительные зернодробилки (5–10 т)							
VNM 70*40	Турция	6,00	45,0	7,5	1,055	0,17	1,27
ДЗМ-6	Украина	6,00	37,0	6,2	1,260	0,21	1,30
ДМ-37	Россия	7,00	37,0	5,3	1,210	0,17	0,92
ДМ-45	Россия	8,00	45,0	5,6	1,110	0,11	1,10
SFSP68*108	Китай	9,00	75,0	8,3	0,940	0,11	0,91
VNM 115*40	Турция	10,00	75,0	7,5	2,160	0,21	1,57
Механические промышленные зернодробилки (более 10 т)							
ДМ-55	Россия	11,50	55,0	4,8	0,395	0,03	0,14
ДЗМ-12	Украина	12,00	75,0	6,3	1,950	0,16	1,00
VNM 115*40	Турция	12,00	90,0	7,5	2,190	0,18	1,35
ЕМ-110	Польша	14,00	110,0	7,9	2,300	0,16	1,26
VNM 115*60	Турция	20,00	132,0	6,6	2,400	0,12	0,79
VNM 115*70	Турция	25,00	160,0	6,4	2,925	0,12	0,76

Для улучшения визуализации сравнительного анализа полученных зависимостей дробилок различных энергетических групп их графическое изображение представлено в системе координат, где оси абсцисс и ординат имеют двойные значения (рис. 1).

Сравнительный анализ пневматических и классических дробилок у первой группы показал повышенный расход потребляемой энергии на выполнение технологического процесса, а также относительные ограничения по производительности (максимальное значение $Q = 5$ т/ч), что, в свою очередь, сужает сферу их применения. Высокопроизводительные и промышленные зернодробилки, также как и малопроизводительные, имеют линейную зависимость затрачиваемой энергии от производительности (E от Q) и ограничиваются максимальными показателями $E = 160$ кВт×ч и $Q = 25$ т/ч.

Зависимость удельных энергозатрат от производительности у механических дробилок классической компоновки имеет гиперболический характер. Так, значения $E_{уд}$ малогабаритных молотковых измельчителей находятся в диапазоне 6–10,5 кВт×ч/т, а для всех остальных энергетических групп составляет 4–6 кВт×ч/т.

Пневматические зернодробилки характеризуются более нестабильным характером распределения удельных энергозатрат и имеют линейную зависимость от производительности. При этом среднее значение $E_{уд.ср.}$

превышает значение удельных энергозатрат механических зернодробилок классических схем и составляет 8–10 кВт×ч/т.

Повышенные удельные энергозатраты пневматических зернодробилок связаны с тем, что количественные значения потребляемой энергии заявлены с учетом ее расхода на транспортировку исходного материала, подвергающегося измельчению, и на вывод готовой продукции, т. е. на работу пневмотранспорта. При рассмотрении механических зернодробилок затраты на транспортировку не учитывались.

Значения комплексного показателя совершенствования конструкции молотковой дробилки ($K_{п.}$), производительности и удельных энергетических показателей являются разнопорядковыми элементами, которые необходимо одновременно учитывать при их приобретении. Для наглядности и облегчения выбора зернодробилок предлагается использовать графическое представление данных показателей эффективности (рис. 2).

Анализ усредненных энергетических показателей, в том числе и $K_{п.}$, показал снижение их значений на 20 % в случае применения механических дробилок, в сравнении с пневматическими, что частично объясняется необходимостью дополнительных энергозатрат на подачу исходного технологического материала и отвода

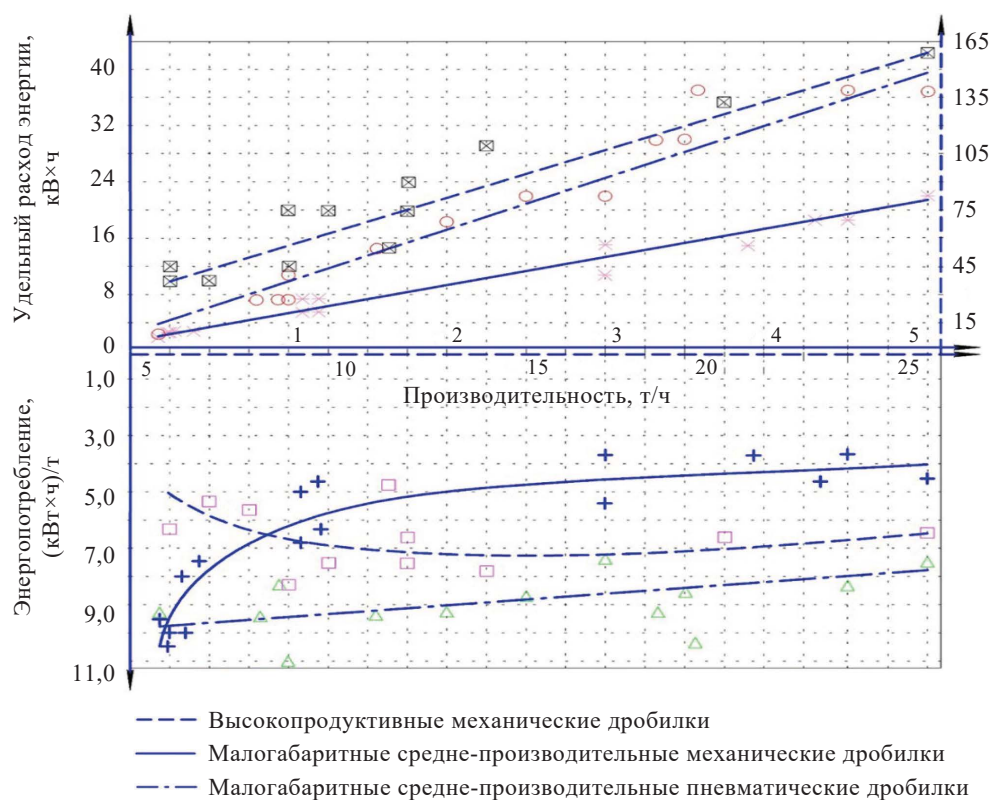


Рисунок 1. Зависимость энергопотребления и удельного расхода энергии молотковых дробилок от их производительности

Figure 1. Effect of energy consumption and specific energy consumption on the productivity of hammer crushers

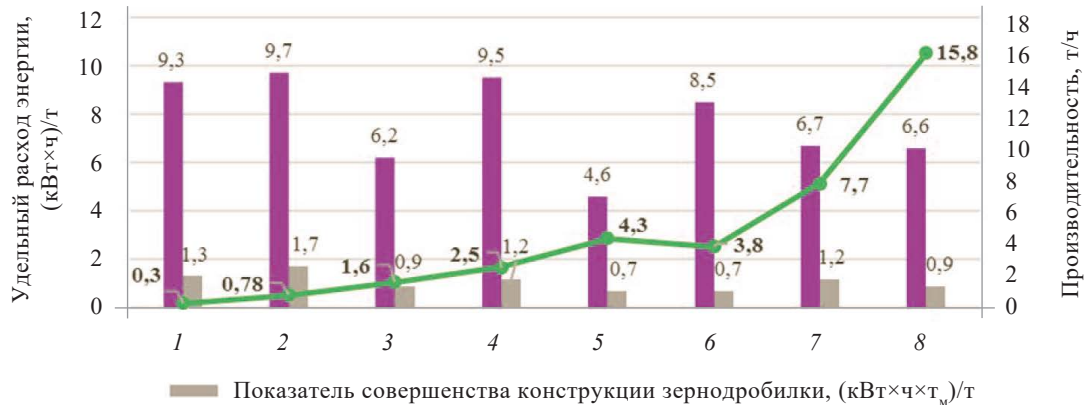


Рисунок 2. Диаграмма усредненных энергетических показателей

Figure 2. Mean energy indicators

готовой продукции от выгрузного окна либо накопительного бункера классических дробилок.

При рассмотрении организации процесса приготовления комбинированных кормов в предприятиях, специализирующихся на производстве продукции животноводства, в настоящее время все чаще наблюдается тенденция перехода на собственное производство. Так, процесс производства осуществляется с помощью малогабаритных и средне-производительных комбикормовых агрегатов, что позволяет не только максимально использовать собственную кормовую базу, ресурсы местных товаропроизводителей, но и значительно снизить транспортные расходы. При этом ниша потребителя, использующего готовые комбикорма со специализированных предприятий, где производительность зернодробилок достигает 10 т/ч и более, остается заполнена на достаточно высоком уровне. В связи с этим производители зернодробилок представляют на рынке большой их спектр, имеющий широкий вариативный диапазон конструктивных схем [12, 13].

Целый ряд современных исследований, изучающих процесс измельчения зерна, выделяет одним из основных недостатков высокий удельный расход электроэнергии 6–15 кВт×ч на 1 т зерна [14–18].

Частичное устранение указанных недостатков возможно за счет своевременного вывода готовой продукции из рабочей камеры путем выравнивания и регулирования в ней воздушно-продуктового слоя, образующегося вследствие совмещения воздушного потока с продуктами измельчения и многократной их циркуляции внутри рабочей камеры дробилки. При этом многие исследователи отмечали неравномерность воздушно-продуктового слоя как в продольном, так и в диаметральном направлении. Замкнутый воздушный поток

действует на всех этапах рабочего цикла: способствует подаче исходного материала в рабочую камеру; обеспечивает движение материала в дробильной камере; способствует измельчению и выносу готового продукта через отверстия решета (для решетчатых дробилок).

Выводы

Составлена классификация молотковых дробилок: по виду рабочей камеры, количеству стадий измельчения, способу подачи материала, виду ввода материала, ориентации вала ротора, наличию решет, наличию деки, количеству дисков, способу отвода материала.

Полученные результаты исследования указывают на возможные направления совершенствования конструкций молотковых дробилок:

1. Совершенствование организации применения воздушного потока в пневматических молотковых дробилках.
2. Своевременный вывод из камеры дробления измельчаемого продукта.
3. Увеличение эффективности измельчения молотковым ротором с уменьшением энергозатрат.

Составлена таблица, в которой представлены наиболее полные на сегодняшний день сведения о технико-экономических показателях молотковых дробилок, позволяющая разделить их по производительности и выделить дробилки с наилучшими показателями. Предложено ввести комплексный показатель совершенства конструкции молотковой дробилки, позволяющий упростить выбор дробилки потребителям. Для его расчета используется произведение удельных энергозатрат и удельной металлоемкости. Наиболее эффективными являются дробилки с наименьшим значением комплексного показателя эффективности.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Contribution

The authors participated equally in the writing of the manuscript and are equally responsible for any potential plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Sabiev UK, Soyunov AS, Myalo VV, Yatsunov AN. Theoretical description of the motion of a material particle in pan vibrating batchers for agricultural purposes. IOP Conf. Series: Earth and Environ. Sci. 2022;954:012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/954/1/012067>
2. Brodziak A, Król J, Nowaczek A. Naturalne substancje pochodzenia roślinnego negatywnie oddziałujące na zdrowie krów oraz jakość mleka. Żywnosc. Nauka. Technologia. Jakość. 2017;24(1):33–47. [Brodziak A, Król J, Nowaczek A. Natural substances of plant origin adversely affecting health of cows and milk quality. Food. Science Technology. Quality. 2017; 24(1):33–47. (In Polish)] <https://doi.org/10.15193/zntj/2017/110/171>
3. Vaculík P, Maloun J, Chládek L, Přikryl M. Disintegration process in disc crushers. Research in Agricultural Engineering. 2013;59(3):98–104. <https://doi.org/10.17221/28/2012-RAE>
4. Sysuev V, Savinyh P, Aleshkin A, Ivanovs S. Simulation of elastic deformation propagation of grain under impact crushing in crusher. Proceedings of the 15th Intern. Sci. Conf. Jelgava, 2016;15:1065–1071. <https://elibrary.ru/WPFONF>
5. Dal-Pastro F, Facco P, Bezzi F, Zamproga E, Barolo M. Data-driven modelling of milling and sieving operations in a wheat milling process. Food and Bioproducts Processing. 2016;99:99–108. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.04.007>
6. Bayram M, Öner MD. Bulgur milling using roller, double disc and vertical disc mills. Journal of Food Engineering. 2007;79(1):181–187. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.042>
7. Savinyh P, Isupov A, Ivanov I, Ivanovs S. Research in centrifugal rotary grinder of forage grain. Proceedings of the 20th Intern. Sci. Conf. Jelgava, 2021;20:205–211. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF044>
8. Volkonov M, Abalikhin A, Krupin A, Maksimov I. Studying the operational efficiency of the centrifugal-impact feed grain crusher of the new design. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020;5(1):44–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212994>
9. Sukhoparov A, Papushin E, Ivanov I, Plotnikova Y. Rotary-centrifugal shredder for forage preparation. E3S Web of Conferences. 2020;222:01020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022201020>
10. Astanukulov KD, Fozilov GG, Kurbanov NM, Adashev BSh, Boyturayev SA. Grinding of the grains according to parameters of hummers in double-staged grinder-crusher. IOP Conf. Series: Earth and Environ. Sci. 2020;614:012129. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012129>
11. Savinyh P, Nechaev V, Nechaeva M, Ivanovs S. Motion of grain particle along blade of rotor fan of hammer crusher. Proceedings of the 15th Intern. Sci. Conf. Jelgava, 2016;15:1072–1076. <https://elibrary.ru/WPGECF>
12. Savinyh P, Shirobokov V, Fedorov O, Ivanovs S. Influence of rotary grain crusher parameters on quality of finished product. Proceedings of the 17th Intern. Sci. Conf. Jelgava, 2018;17:131–136. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N158>
13. Iskenderov R, Lebedev A, Zacharin A, Lebedev P. Evaluating effectiveness of grinding process grain materials. Proceedings of the 17th Intern. Sci. Conf. Jelgava, 2018;17:102–108. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N147>
14. Savinyh P, Kazakov V, Moshonkin A, Ivanovs S. Investigations in feeding device of grain crusher. Proceedings of the 18th Intern. Sci. Conf. Jelgava, 2019;18:123–128. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N165>
15. Yalpathyk E, Budenko S. Balance of power and energy efficiency grain crusher. Praci Tavria State Agrotechnological University. 2013;13(1):218–226.
16. Yalpathik O. Ground of parameters and operation modes grain-growing crusher of direct blow. Praci Tavria State Agrotechnological University. 2013;13(7):42–56.
17. Gvozdev A, Yalpathik A. Experimental researches of distribution of grain on chamber of crushing of crusher with vertical rotor. Praci Tavria State Agrotechnological University. 2012;(12)3:102–108.
18. Thomas M, Hendriks WH, van der Poel AFB. Size distribution analysis of wheat, maize and soybeans and energy efficiency using different methods for coarse grinding. Animal Feed Science and Technology. 2018;240:11–21. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.03.010>

FOR AUTHORS

Food Processing: Techniques and Technology reports pioneering research in the food industry and all branches of agricultural science. We publish scientific papers, reviews, and brief scientific reports in such spheres of food science as food systems, biotechnology, food production technology, sanitation and hygiene, ecology, biosafety, zootechnics, agro-industrial machinery, etc.

Before submitting your manuscript, please make sure you have not submitted it elsewhere. Your research topic should correspond to the profile of the Journal and be relevant for the scientific community.

First, we check if your manuscript complies with the Journal's profile and formatting. Then, we check it for unattributed borrowings from open sources (plagiarism) at antiplagiat.ru.

After that, your manuscript undergoes a double-blind peer review by specialists appointed by the Chief Editor or the Deputy Editor. The peer review can be conducted by the members of the Editorial Board or by acknowledged academic experts in the area of research who have recent publications on the related topic.

The Reviewers are notified about the manuscripts being the authors' private owner rights that cannot be subject to public disclosure. The Reviewers are not allowed to copy them. Reviewing is strictly confidential. Violation of confidentiality is impossible unless the Reviewer reports unreliability or counterfeiting.

Usually, reviewing does not exceed three months from the day the Reviewer receives the manuscript.

All reviews are disposed of five years after the publication.

Based on the results, the Reviewer produces a reasoned opinion: the manuscript can be recommended for publication; the manuscript can be recommended for publication after

some improvement; the manuscript cannot be recommended for publication (reasons for rejection).

If the article underwent a considerable follow-on revision, it is again sent to the same Reviewer who gave the critical remarks.

We reserve the right to reject the manuscript if the Author is unable or unwilling to follow the recommendations.

In case of two negative initial reviews or one negative review on the revised variant, the manuscript is rejected without considering by other members of the Editorial Board.

The Author of the rejected article receives the reviews and a motivated refusal. The Reviewer's name may be reported to the Author provided that the former gives consent to it.

After reviewing, the Chief Editor and the Editorial Board make the final decision.

All articles submitted after August 1, 2024, require a publishing charge of 50,000 rubles per article, regardless of volume, language, graphic material, etc. Submission and peer review are free of charge, which means that you pay the article publishing charge only after you have received a positive review and your manuscript have been accepted for publication by the Chief Editor. More information is available at fptt.ru/en

We are obliged to provide review copies to the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation upon request, but we do not retain rejected articles. Accepted manuscripts are not returned. The manuscripts with negative reviews are not published and not returned to the Author, either.

Manuscripts are usually published in the order we receive them. In exceptional cases, the Editorial Board maintains the right to change the order of publication.

All papers published in the *Food Processing: Techniques and Technology* fall under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

FORMATTING

The article body should be 30.000–35.000 characters with spaces (abstract, figures, and tables included). Reviews have an unlimited wordage.

Format instructions:

- 20 mm margins;
- single line spacing without automatic hyphenation;
- no extra interspaces between words or gaps between paragraphs;
- Times New Roman, size 10;
- editable and colored Microsoft Office or Corel Draw figures and diagrams attached separately as tiff, jpeg, cdr, or excel files.

Please, do not overload your text with unnecessary formulae; do not illustrate the same results with both a table and a graph. Give each table or figure a header and a number, which you will use in the text to introduce them.

Structure:

1. Type of manuscript (research paper/review/report)
2. Title
3. Initials and last names of the authors
4. Affiliations
5. Email of the author responsible for correspondence
6. Abstract (Introduction; Study Objects and Methods; Results and Discussion; Conclusions)
7. Keywords
8. Funding

9. Article body (Introduction; Study objects and methods; Results and discussion; Conclusions)

10. Contribution

11. Conflict of Interests

12. Acknowledgements

13. References

14. About the authors

You can submit your manuscript and all accompanying documents on our site fptt.ru/en or email them to fptt98@gmail.com

Documents:

We expect to receive the following documents as separate files:

1. an MSWord e-version of your article named by the first author's last name (e.g., Smith.doc);
2. a scanned PDF version of your article, the first page signed by all the authors (Smith.pdf);
3. a scanned PDF version of a cover letter to the Chief Editor from your organization with the conclusion about the relevance of the research and recommendations for its publishing. It should contain the date, reference number, and the signature of the head of the organization;
4. a standard copyright agreement.

For more information, please, visit us at fptt.ru/en

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» предназначен для публикации статей, посвященных проблемам пищевой и смежных отраслей промышленности.

Статья должна отвечать профилю журнала, обладать научной новизной, публиковаться впервые.

Рукопись научной статьи, поступившая в редакцию журнала, рассматривается ответственным за выпуск на предмет соответствия профилю журнала и требованиям к оформлению, проверяется оригинальность представленного текста с помощью интернет-ресурсов – <https://antiplagiat.ru>, регистрируется.

В журнале публикуются только рукописи, текст которых рекомендован рецензентами. Редакция организует «двухстороннее слепое» (анонимное) рецензирование представленных рукописей. Выбор рецензента осуществляется решением главного редактора или его заместителя. Для проведения рецензирования рукописей статей в качестве рецензентов могут привлекаться как члены редколлегии журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)», так и высококвалифицированные ученые и специалисты других организаций и предприятий, обладающие глубокими профессиональными знаниями и опытом работы по конкретному научному направлению, как правило, доктора наук, профессора. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи.

Рецензенты уведомляются о том, что присланные им рукописи являются частной собственностью авторов и относятся к сведениям, не подлежащим разглашению. Рецензентам не разрешается делать копии статей для своих нужд. Рецензирование проводится конфиденциально. Нарушение конфиденциальности возможно только в случае заявления рецензента о недостоверности или фальсификации материалов, изложенных в статье.

Срок рассмотрения статьи не должен превышать трех месяцев со дня получения статьи на рецензирование.

Оригиналы рецензий хранятся в издательстве и в редакции издания в течение пяти лет со дня публикации статей.

Если в рецензии имеется указание на необходимость ее исправления, то статья направляется автору на доработку.

Если статья по рекомендации рецензента подверглась значительной авторской переработке, то она направляется

на повторное рецензирование тому же рецензенту, который сделал критические замечания.

Редакция оставляет за собой право отклонения статей в случае неспособности или нежелания автора учесть пожелания редакции.

При наличии отрицательных рецензий на рукопись от двух разных рецензентов или одной рецензии на ее доработанный вариант статья отклоняется от публикации без рассмотрения другими членами редколлегии. Автору не принятой к публикации статьи ответственный за выпуск направляет мотивированный отказ. Фамилия рецензента может быть сообщена автору лишь с согласия рецензента.

Решение о возможности публикации после рецензирования принимается главным редактором, а при необходимости – редколлегией в целом.

С 1 августа 2024 г. для публикации статей необходимо вносить плату (АПС). Плата за публикацию одной статьи составляет 50 000 руб. независимо от объема рукописи, языка, на котором она представлена, и наличия графического материала. Оплата производится только после получения положительной рецензии и утверждения главным редактором статьи в номер. За подачу рукописи статьи в редакцию журнала, её проверку и рецензирование плата не взимается. Более подробно ознакомиться с условиями платы, скидками и привилегиями можно на <https://fptt.ru>

Редакция журнала направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации при поступлении в редакцию издания соответствующего запроса.

Редакция журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» не хранит рукописи, не принятые к печати.

Рукописи печатаются, как правило, в порядке очередности их поступления в редакцию. В исключительных случаях, редакционная коллегия имеет право изменить очередность публикации статей.

Журнал «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» является журналом открытого доступа (open access). Все материалы журнала распространяются на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Объем статьи должен быть не менее 30–35 тыс. знаков (не включая списки литературы на русском и английском языках). Объем обзорной рукописи – более 35 тыс. знаков.

Оформление текста (форматирование): поля по 20 мм, одинарный интервал без переносов, лишних пробелов и абзацных интервалов, шрифт Times New Roman, 10 кегль. Следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, дублирования одних и тех же результатов в таблицах и графиках.

Графики, диаграммы и т. п. (желательно цветные), созданные средствами Microsoft Office и Corel Draw, должны допускать возможность редактирования и направляются в редакцию отдельными файлами в форматах tiff, jpeg, cdr, excel.

Каждая таблица, график, диаграмма и т. п. должны иметь заголовки и порядковые номера, в тексте статьи должны присутствовать ссылки на каждую из них.

Структура статьи:

1. Тип статьи;
2. Название статьи;
3. Инициалы и фамилии всех авторов;
4. Официальное полное название учреждения;
5. E-mail автора, с которым следует вести переписку;
6. Аннотация (разбивается на разделы: «Введение», «Объекты и методы исследований», «Результаты и их обсуждение», «Выводы»);
7. Ключевые слова;
8. Финансирование;

9. Текст статьи (обязательные разделы: «Введение», «Объекты и методы исследований», «Результаты и их обсуждение», «Выводы»);

10. Критерий авторства;

11. Конфликт интересов;

12. Благодарности;

13. Список литературы;

14. References;

15. Сведения об авторах (на русском и английском языках).

Подать рукопись можно на сайте журнала <https://fptt.ru> или отправив на e-mail fptt98@gmail.com

В редакцию предоставляются:

1. Электронная версия статьи в программе MSWord. Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – ПетровГП.doc. Не допускается в одном файле помещать несколько документов;
2. Сканированная электронная версия статьи, подписанная всеми авторами, в программе PDF. Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – ПетровГП.pdf. Не допускается в одном файле помещать несколько документов;
3. Гарантийное письмо (скан-копия) на имя главного редактора журнала на бланке направляющей организации с указанием даты регистрации и исходящего номера, с заключением об актуальности работы и рекомендациями к опубликованию, с подписью руководителя учреждения;
4. Издательский лицензионный договор.

Более подробная информация на <https://fptt.ru>

✧ СОДЕРЖАНИЕ ✧

Федоренко Б. Н., Лесничий А. В., Стерин В. Ф., Латышев М. А., Мачнев А. В., Яблоков А. Е., Якушев А. О. Биомембранные системы для конвергентных природоподобных технологий	1	адаптации <i>Vaccinium angustifolium</i> и <i>Vaccinium corymbosum</i> <i>ex vitro</i> в открытом грунте	107
Шелехова Н. В., Абрамова И. М., Шелехова Т. М., Скворцова Л. И., Полтавская Н. В. Химический состав дистиллята из пшеницы в процессе выдержки в контакте с древесиной дуба	17	Мизанбекова С. К., Богомолова И. П., Василенко И. Н., Шатохина Н. М. Управление технологическими процессами ресурсосбережения свеклосахарного производства с использованием метода статистического моделирования	122
Кючукбай Ф., Бююккормаз Ч., Озек Г., Озек Т. Химический состав эфирных масел кумквата (<i>Citrus fortunella</i>) и мутантов	30	Чекушкина Д. Ю., Федорова А. М., Коваленко С. В., Милентьева И. С., Альтшулер О. Г., Аксенова Л. М. Потенциал транс-коричной кислоты для профилактики метаболического синдрома	137
Паймулина А. В., Голуб О. В., Чекрыга Г. П., Мотовилов О. К., Семенов П. В. Влияние корнеплодов <i>Raphanus sativus</i> L. <i>var. sativus</i> на качественные характеристики хлебобулочных изделий	45	Урудж Ш., Дриль А. А., Маюрникова Л. А. Теоретико-методологическое обоснование моделирования процессов инновационного развития общественного питания	148
Медведев П. В., Федотов В. А., Бочкарева И. А. Технологические параметры приготовления теста для сахарного и затяжного печенья	61	Бахареv В. В., Феоктистов П. А. Анализ профиля ароматообразующих соединений в сухой и сладкой плодовой алкогольной продукции из земляники	166
Арабова З. М., Нугманов А. Х.-Х., Бородулин Д. М., Алексанян И. Ю., Коннова О. И. Кинетические закономерности экстракции целевых компонентов из икорно-ястычного комплекса и его рафината	74	Гутникова О. Н., Павлуненко Л. Е. Потребительские предпочтения при выборе натурального пчелиного меда (на примере г. Симферополя)	181
Оберенко А. В., Качин С. В., Сагалаков С. А., Яковлев А. Д., Козель Н. А. Исследование состава ароматизаторов для алкогольных напитков домашней выработки	89	Бородина Е. Е., Козлова О. В., Богер В. Ю., Проскурякова Л. А., Юстратов В. П. Листья пасленовых – источники антиоксидантов и витамина D	197
Макаров С. С., Чудецкий А. И., Кузнецова И. Б., Куликова Е. И., Кульчицкий А. Н., Сунгурова Н. Р. Совершенствование технологии		Мезенов А. А., Григорев Н. Н., Кашеваров Н. И. Молотковые зернодробилки: классификация и методика оценки эффективности	214

✧ CONTENTS ✧

Fedorenko Boris N., Lesnichiy Anton V., Sterin Vladimir F., Latyshev Mikhail A., Machnev Aleksey V., Yablokov Alexander E., Yakushev Alexey O. Biomembrane Systems for Convergent Biomimetic Technologies	2	Improving the <i>Ex Vitro</i> Adaptation Technology for <i>Vaccinium</i> <i>Angustifolium</i> and <i>Vaccinium Corymbosum</i> on the Field	108
Shelekhova Natalya V., Abramova Irina M., Shelekhova Tamara M., Skvortsova Liubov I., Poltavskaya Natalya V. Effect of Oak Wood Aging on Chemical Composition of Wheat Distillate	18	Mizanbekova Salima K., Bogomolova Irina P., Vasilenko Irina N., Shatohina Natalya M. Technological Management of Resource Saving in Sugar Beet Production Using Statistical Modeling	123
Küçükbay Fatümetüzzehta, Büyükkormaz Çağrı, Özek Gülmira, Özek Temel. Chemical Composition of Essential Oils from <i>Citrus fortunella</i> (Kumquat) and Its Mutants	29	Chekushkina Darya Yu., Fedorova Anastasia M., Kovalenko Svetlana V., Milentyeva Irina S., Altshuler Olga G., Aksenova Larisa M. Anti-Metabolic Syndrome Effect of Trans- Cinnamic Acid	136
Paymulina Anastasia V., Golub Olga V., Chekryga Galina P., Motovilov Oleg K., Semenov Pavel V. Effect of <i>Raphanus</i> <i>sativus</i> L. <i>var. sativus</i> on Bakery Quality	46	Urooj Shabana, Dril Anastasiia A., Mayurnikova Larisa A. Innovative Modeling in Public Catering: Theory and Methods	149
Medvedev Pavel V., Fedotov Vitalij A., Bochkareva Irina A. Dough-Making Technology for Sugar and Hard-Dough Cookies	62	Bakharev Vladimir V., Feoktistov Pavel A. Aroma Compounds in Dry and Sweet Strawberry Alcoholic Beverages	167
Arabova Zarema M., Nugmanov Albert Kh.-Kh., Borodulin Dmitry M., Aleksanyan Igor Yu., Konnova Olga I. Extracting Target Components from Fresh and Refined Sac Roe: Kinetic Patterns	75	Gutnikova Olga N., Pavlunenko Lilya E. Consumer Preferences for Natural Honey in Simferopol, Russia	182
Oberenko Andrey V., Kachin Sergei V., Sagalakov Sergei A., Yakovlev Artem D., Kozel Natalia A. Composition of Flavorings for Home-Made Alcoholic Beverages	90	Borodina Ekaterina E., Kozlova Oksana V., Boger Veronika Yu., Proskuryakova Larisa A., Yustratov Vladimir P. <i>Solanaceae</i> Leaves as are Sources of Antioxidants and Vitamin D.	198
Makarov Sergey S., Chudetsky Anton I., Kuznetsova Irina B., Kulikova Elena I., Kulchitsky Andrey N., Sungurova Natalia R.		Mezenov Artem A., Grigorev Nikolai N., Kashevarov Nikolai I. Hammer Grain Crushers: Classification and Efficiency Assessment	215