Кемеровский государственный университет
Объединяем знания и людей

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

Техника и технология пищевых производств

Food Processing: Techniques and Technology

Том 53
Номер 2
2023

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ Издается с 1998 года **№ 2 (53)**
(FOOD PROCESSING: TECHNIQUES AND TECHNOLOGY) ISSN 2074-9414 (Print) ISSN 2313-1748 (Online) **2023** **16+**

Национальный, рецензируемый научный журнал, посвященный вопросам пищевой промышленности и смежных отраслей. Журнал включен в **SCOPUS**, **RSCI**, 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 интеллигенции, 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; электротехнологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса. Подробная информация для авторов и читателей представлена на сайте https://fptt.ru

Главный редактор:

А.Ю. Просеков, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия.

Зам. главного редактора:

А.Н. Петров, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия;

О.О. Бабич, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия.

Редакционная коллегия:

Е.В. Абакумов, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

И.В. Алтухов, ООО «Промышленные технологические инновации», Иркутск, Россия;

В.В. Бахарев, Самарский государственный технический университет, Самара, Россия;

С.М. Бычкова, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Пушкин, Россия;

А.Г. Галстян, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия;

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

И.Ф. Горлов, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия;

Г.М. Гриценко, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Россия;

Н.И. Дунченко, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

И.А. Евдокимов, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия;

Ж.С. Есимбеков, Университет имени Шакарима города Семей, Семей, Казахстан;

А.В. Заушинцена, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;

А.П. Каледин, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

А.Б. Капранова, Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия;

В.Г. Лобанов, Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия;

Г.О. Магомедов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;

О.А. Неверова, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;

В.Н. Попов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;

С.Л. Тихонов, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия;

О.А. Фролова, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия;

В.Н. Хмелев, Бийский технологический институт Алтайского государственного технического университета, Бийск, Россия;

Ю.С. Хотимченко, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;

А.Г. Храмцов, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия;

С.В. Шахов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;

И.В. Юдаев, 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: А.А. Кирякова

Литературный редактор: А.Ю. Курникова

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

Дизайн и компьютерная: верстка Е.В. Волкова

Редактор онлайн версии: Е.В. Дмитриева

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 22.06.23

Усл. п. л. 24,65. Тираж 500 экз.

Цена свободная. Выходит 4 раза в год

Подписной индекс по интернет-каталогу агенства «Книга-Сервис» – 41672

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-72313 выдано Роскомнадзор

© Кемеровский государственный университет, 2023. © Авторы, 2023

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 brieves in the following areas: food systems; biotechnology; food production technology; sanitation and health; ecology; biosecurity; zootechnics; electrotechnologies, 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, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia.

Deputy Editor-in-Chief

Andrey N. Petrov, All-Russia Dairy Research Institute, Moscow, Russia;

Olga O. Babich, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.

Editorial Board Member

Evgeny V. Abakumov, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia;

Igor V. Altukhov, Industrial Technological Innovations LLC, Irkutsk, Russia;

Vladimir V. Bakharev, Samara State Technical University, Samara, Russia;

Svetlana M. Bychkova, St. Petersburg State Agrarian University, Pushkin, Russia;

Aram G. Galstyan, All-Russia Dairy Research Institute, Moscow, Russia;

Irina A. Ganieeva, Reasearch and Academic Centre «Kuzbass», Kemerovo, Russia;

Ivan F. Gorlov, Povolzhsky Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia;

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

Nina I. Dunchenko, Timiryazev Russian State Agrarian University, Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia;

Ivan A. Evdokimov, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia;

Zhanibek S. Yessimbekov, Shakarim University of Semey, Semey, Kazakhstan;

Alexandra V. Zaushintsena, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia;

Anatoly P. Kaledin, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

Anna B. Kapranova, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia;

Vladimir G. Lobanov, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia;

Gazibeg O. Magomedov, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;

Olga A. Neverova, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia;

Vasily N. Popov, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;

Sergei L. Tikhonov, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia;

Olga A. Frolova, Nizhni Novgorod Ingineering-economic State University, Knyaginino, Russia;

Vladimir N. Khmelev, Biysk Technological Institute, Altai State Technical University, Biysk, Russia;

Yuri S. Khotimchenko, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

Andrey G. Khramtsov, North-Caucasian Federal University, Stavropol, Russia;

Sergey V. Shakhov, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;

Igor V. Yudaev, 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: A.A. Kiryakova
Editor and Proofreader: A.Yu. Kurnikova
English Editor: N.V. Rabkina
Computer layout design: E.V. Volkova
Website Editor: E.V. Dmitrieva

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, Sovetskiy Ave. 73, Kemerovo, Kemerovo region – Kuzbass, 650000, Russia

Date of issue June 22, 2023
Printed sheet 24,65 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*

© 2023, Kemerovo State University
© 2023, Authors

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

Колонка редактора
https://fptt.ru

Животноводство является одной из основных отраслей сельского хозяйства и стратегической отраслью экономики России. Производство животноводческой продукции, наравне с растениеводством, обеспечивает продовольственную безопасность страны. На долю животноводства в России приходится около 45 % от всей валовой продукции. Животноводство собирает около 75 % основных производственных фондов и 70 % трудовых ресурсов.

Во время пандемии COVID-19 животноводство претерпело заметный спад. Однако по результатам исследования Центра экономики рынков с 2021 г. численность поголовья скота и птицы стала увеличиваться. В 2022 г. в России производство скота и птицы в хозяйствах выросло на 2,9 % по сравнению с предыдущим годом. Согласно данным Росстата, опубликованным в январе 2023 г., производство скота и птицы на убой в живом весе в хозяйствах всех категорий в 2022 г. увеличилось до 16,2 млн т, валовый надой молока – до 33 млн т.

Условием стабильного экономического развития агропромышленного комплекса, особенно в отрасли животноводства, является благоприятная эпизоотическая ситуация, снижение уровня загрязнения окружающей среды биологическими отходами, повышение качества и экологической безопасности сырья и продукции животного происхождения. Определяющее значение имеет ветеринарная медицина.

Благодаря развитию ветеринарии на сегодняшний день осталось не так много болезней, которые могут привести к серьезным последствиям для здоровья и спровоцировать гибель животных. Однако сохраняются опасные заболевания, несущие серьезный экономический и социальный ущерб.

В декабре 2022 г. Правительство России утвердило план мероприятий («дорожную карту») по усовершенствованию системы ветеринарной безопасности России. Распоряжение № 3789-р от 7 декабря 2022 г. содержит комплекс мер, направленных на предотвращение возникновения и распространения особо опасных болезней животных (африканская чума свиней, высокопатогенный грипп птиц, ящур). Главная цель – повышение эффективности борьбы с такими болезнями.

Развитие ветеринарной науки позволяет создавать новые методы лечения и профилактики заболеваний у животных, что повышает уровень их здоровья и качество продукции животноводства, а также способствует росту уровня профессиональной подготовки ветеринаров и обеспечивает более высокий уровень знаний и навыков в области лечения и профилактики заболеваний у животных.

Видным российским ученым в области ветеринарной медицины является академик РАН, профессор, доктор ветеринарных наук Александр Семенович Донченко. Научные интересы академика А. С. Донченко направлены на создание высокоэффективных научно обоснованных ресурсосберегающих технологий в животноводстве и ветеринарной медицине, ветеринарных диагностикумов, химиопрепаратов и ветеринарных аппаратов.

Александр Семенович большое внимание уделяет подготовке специалистов для животноводства и ветеринарной медицины Сибири и Крайнего Севера. Научную школу академика А. С. Донченко представляют десятки докторов и кандидатов наук. Его ученики трудятся в Якутии, в Новосибирской, Омской, Челябинской и Амурской областях, в Приморском и Алтайском краях, других регионах Российской Федерации, а также за ее пределами.

Академик А. С. Донченко является создателем технологий, систем, ветеринарных диагностикумов и препаратов для профилактики и ликвидации распространенных в Сибири и за ее пределами хронических инфекций сельскохозяйственных животных. В соавторстве с другими учеными на основе биотехнологических методов им разработаны эффективные тест-системы для диагностики туберкулеза, лейкоза, классической чумы свиней, инфекционного ринотрахеита, вирусной диареи крупного рогатого скота и болезней маралов. Для ветеринарной практики предложен высокоэффективный противотуберкулезный препарат ниазон.

Результаты исследований академика А. С. Донченко широко известны в России и за рубежом, они опубликованы и обобщены в научных трудах, монографиях, справочниках, учебниках и научно-методических рекомендациях.

Редакция журнала поздравляет академика РАН, профессора, доктора ветеринарных наук Александра Семеновича Донченко с днем рождения и присоединяется ко всем поздравлениям. Желаем счастья, крепкого здоровья и неутомимых сил, вдохновения для новых идей и научных свершений, а также поддержки близких, коллег и учеников!

Главный редактор журнала
«Техника и технология пищевых производств»,
член-кор. РАН, профессор

А. Ю. Просеков

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2436
https://elibrary.ru/YORYWG

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Содержание тяжелых металлов в органах и тканях зайца-беляка (*Lepus timidus* L., 1758) на севере Красноярского края

П. В. Кочкарев[1], М. А. Кошурникова[2], А. А. Сергеев[2,*], В. В. Ширяев[2]

[1] *Государственный природный биосферный заповедник «Центральносибирский», п. Бор, Россия*

[2] *Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, Киров, Россия*

Поступила в редакцию: 16.02.2023
Принята после рецензирования: 13.04.2023
Принята к публикации: 02.05.2023

**А. А. Сергеев: metalbird@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9461-5131*
П. В. Кочкарев: https://orcid.org/0000-0001-5995-3963
М. А. Кошурникова: https://orcid.org/0000-0003-3638-3712
В. В. Ширяев: https://orcid.org/0000-0002-4549-5727

© П. В. Кочкарев, М. А. Кошурникова, А. А. Сергеев, В. В. Ширяев, 2023

Аннотация.
Сведения о следовых и токсичных концентрациях металлов в организме диких животных имеет большое значение для мониторинга химического загрязнения окружающей среды и оценки состояния здоровья и токсических рисков у животных и человека.
Методом атомно-абсорбционной спектрометрии определили концентрацию железа, меди, цинка, свинца и кадмия в скелетной мускулатуре, печени и почках зайцев-беляков (*Lepus timidus* L.) (n = 107), добытых в течение двух сезонов на фоновых и техногенно-загрязненных территориях Красноярского края.
Содержание тяжелых металлов в органах и тканях зайцев-беляков на загрязненных полигонах оказалось достоверно выше, чем на фоновых территориях. В организме животных на загрязненных территориях достоверно высокое содержание свинца, кадмия и ртути, на фоновых участках больше биогенных элементов – меди, цинка и железа. Подобные отличия связаны с антагонизмом биогенных и токсичных металлов в организме. Выявленные корреляции между отдельными металлами в органах и тканях указывают на общие источники поступления микроэлементов в окружающую среду на исследуемой территории.
Уровни кадмия и свинца у зайцев-беляков на загрязненных участках не опасны для здоровья животных. Около 40 % проб печени и все пробы мышечной ткани зайцев, отловленных на загрязненном участке, оказались не пригодны в пищу по причине содержания опасных концентраций свинца и кадмия. Осуществление охоты на участках техногенного загрязнения может представлять токсическую опасность для аборигенных охотников и членов их семей.

Ключевые слова. *Lepus timidus*, заяц-беляк, охота, промысел, мясо дичи, загрязнение, экотоксикология, микроэлементы, тяжелые металлы, свинец, кадмий, ртуть

Финансирование. Работы выполнены в 2022 г. во Всероссийском научно-исследовательском институте охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б. М. Житкова (ВНИИОЗ) в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.), утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р, составляющей основу Государственного задания института (тема «Совершенствование научных основ устойчивого использования, методов оценки, мониторинга и прогноза динамики биологических ресурсов охотничьего хозяйства» (№ FNWS-2022-0001)).

Для цитирования: Содержание тяжелых металлов в органах и тканях зайца-беляка (*Lepus timidus* L., 1758) на севере Красноярского края / П. В. Кочкарев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 217–230. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2436

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2436
https://elibrary.ru/YORYWG

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Trace Elements in the Meat and Internal Organs of the Mountain Hare (*Lepus timidus* L., 1758) in the North of the Krasnoyarsk Region

Pavel V. Kochkarev[1], Maria A. Koshurnikova[2], Alexey A. Sergeyev[2,*], Valery V. Shiryaev[2]

[1] *State Natural Biosphere Reserve "Central Siberian", village Bor, Russia*

[2] *Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia*

Received: 16.02.2023
Revised: 13.04.2023
Accepted: 02.05.2023

**Alexey A. Sergeyev: metalbird@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9461-5131*
Pavel V. Kochkarev: https://orcid.org/0000-0001-5995-3963
Maria A. Koshurnikova: https://orcid.org/0000-0003-3638-3712
Valery V. Shiryaev: https://orcid.org/0000-0002-4549-5727

© P.V. Kochkarev, M.A. Koshurnikova, A.A. Sergeyev, V.V. Shiryaev, 2023

Abstract.
Relevant data on trace elements and toxic metals in game meat make it possible to monitor chemical pollution, as well as to detect risks to human and animal health.
The authors used atomic absorption spectrometry to study iron, copper, zinc, lead, and cadmium in the skeletal muscles, liver, and kidneys of mountain hares (*Lepus timidus* L.) (n = 107). The animals were caught during two seasons on reference sites and technogenic territories in the northern Krasnoyarsk Region.
The samples obtained from the hares that lived on the reference sites had a much lower content of toxic metals. The tissues that belonged to the hares from the polluted habitats contained more lead and cadmium while the samples from the reference sites demonstrated traces of such biogenic elements as copper, zinc, and iron. The differences may be associated with the antagonism of biogenic elements and toxic metals in the body. The correlations between various metals probably meant that they came from one and the same pollution source.
The levels of cadmium and lead in the samples from the technogenic areas were not hazardous to animal health. However, their meat and liver were unfit to eat. Therefore, hunting in the areas of technogenic pollution can pose a toxic hazard to indigenous hunters and their families.

Keywords. *Lepus timidus*, mountain hare, hunting, game meat, pollution, ecotoxicology, trace elements, heavy metals, lead, cadmium, mercury

Funding. The research was conducted on the premises of the Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (VNIIOZ) as part of the State Task on Scientific Foundations for Sustainable Use, Assessment, Monitoring, and Forecasting Biological Resources of the Hunting Industry (No. FNWS-2022-0001), Fundamental Research Program through 2021–2030, Decree No. 3684-r of the Government of the Russian Federation, December 31, 2020.

For citation: Kochkarev PV, Koshurnikova MA, Sergeyev AA, Shiryaev VV. Trace Elements in the Meat and Internal Organs of the Mountain Hare (*Lepus timidus* L., 1758) in the North of the Krasnoyarsk Region. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):217–230. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2436

Введение

Загрязнение окружающей среды токсичными металлами связано с развитием индустрии и сельского хозяйства. Выбросы металлов и антропогенных источников в атмосферу, воду и почву увеличили концентрацию свинца, кадмия, цинка и ртути, а также в меньшей степени меди и никеля в неорганических средах и биологических объектах [1–5].

Металлы необходимы для жизнедеятельности организмов. Однако отдельные элементы могут вызывать острые и хронические отравления [6, 7].

Тяжелые металлы, присутствующие в окружающей среде, имеют тенденцию накапливаться в организме животных, мигрируя по пищевым цепям. Биоаккумуляция токсичных металлов вызывает ряд патологических состояний, тем самым создавая

серьезную опасность для здоровья людей и животных. С точки зрения потенциально неблагоприятных последствий для здоровья кадмий, свинец и ртуть входят в число элементов, вызывающих наибольшую озабоченность.

Повышенный уровень содержания свинца можно обнаружить вблизи оживленных автомагистралей, теплоэлектростанций и металлургических предприятий. Охотничьи свинецсодержащие боеприпасы также загрязняют окружающую среду. Источниками свинца могут быть корма, почва, вода или воздух. Период его полураспада в окружающей среде, особенно в почве, очень велик. В организме теплокровных после поглощения свинец откладывается в печени и костях, где сохраняется длительное время. Избыточное накопление свинца вызывает нарушение кроветворной функции, поражение центральной нервной системы и особую форму отравления – плюмбизм (сатурнизм человека).

Кадмий – тяжелый металл, который можно обнаружить в повышенных концентрациях вблизи предприятий тяжелой и горнодобывающей промышленности. Кадмий и свинец в виде примесей содержатся в удобрениях, моторных маслах и топливе, что может быть причиной увеличения количества этих тяжелых металлов в сельскохозяйственных почвах. Местами депонирования кадмия являются почки и печень, по некоторым данным кости. Период выведения кадмия из организма велик, поэтому токсикант накапливается с возрастом. Аккумулируясь в организме в значительных количествах, кадмий вызывает острое поражение почек, деминерализацию костей и пневмофиброз. Примером хронического кадмиоза является вспышка болезни итаи-итаи, отмеченная у населения Японии в 1950 г.

Все живые организмы постоянно подвергаются воздействию поллютантов. Дикие животные, имеющие неограниченную свободу передвижения, обитают в местах, загрязненных токсичными металлами [8]. В этой связи они представляют особую ценность в качестве экотоксикологических биоиндикаторов [9, 10].

Химическое загрязнение диких животных исследуется уже более полувека [11, 12]. Для большинства регионов России и бывшего СССР данные по загрязненности токсичными металлами продукции охотничьего хозяйства отсутствуют, хотя они необходимы для мониторинга качества окружающей среды, оценки степени негативного воздействия химических факторов на популяции хозяйственно важных видов животных, обеспечения продовольственной безопасности страны и совершенствования санитарно-гигиенических норм и правил. Зайцы являются удобным биоиндикатором загрязнения среды и важным промысловым объектом, но эколого-токсикологические исследования зайцеобразных весьма ограничены, а зайца-беляка – единичны [11, 15–18]. В этой связи любые сведения о химическом составе органов и тканей зайцеобразных любого региона мира представляют научный интерес и новизну.

Целью данного исследования являлось определение концентрации различных токсических и биогенных элементов в органах и тканях зайцев-беляков (*Lepus timidus* L.) на севере Красноярского края, где предполагается различный уровень промышленного загрязнения.

Объекты и методы исследования

В качестве материала для исследования использовались внутренние органы (скелетная мускулатура, печень и почки) взрослых зайцев-беляков (*Lepus timidus* L.). Отбор биоматериала от самок зайца-беляка производился в период с 20 мая по 20 июня, от самцов зайца-беляка – с апреля по июнь. Экспериментальные данные получены в период с 2011 по 2014 гг., но остаются актуальными, поскольку, по информации Министерства экологии и рационального природопользования Красноярского края, за этот период характер и уровень техногенной нагрузки существенно не изменялся. Кроме того, собранные сведения могут быть использованы для сравнительных выводов при проведении экологического мониторинга территорий исследований в ближайшей и отдаленной перспективе.

Материал для исследований собран на территории Красноярского края РФ: предположительно загрязненных в результате деятельности горнодобывающих и металлургических предприятий участках в районе среднего течения р. Агапа (71°638611 с.ш., 87°881650 в.д.) и на фоновых территориях в окрестностях п. Хета, п. Кресты (р. Хатанга) и п. Катарык (р. Хета) (71°319090 с.ш., 99°312443 в.д.).

Добычу зайцев-беляков осуществляли петлями местные охотники из числа коренных и малочисленных народов Севера. Отловленные животные метились биркой, надетой на шею (бирки заранее изготавливались и передавались охотникам). Тушки замораживали в леднике при температуре –18 °С, а затем упаковывали в отдельные новые пакеты из пищевого пластика. Раз в десять дней их перевозили вертолетом или гидросамолетом в г. Дудинка, где в ветеринарной лаборатории одним из авторов, а также ветеринарными специалистами Федеральной службы Россельхознадзора по Красноярскому краю производились все необходимые промеры и взвешивания. Здесь тушки вскрывали и отбирали пробы органов и тканей для микроэлементного анализа. Материал упаковывали в пищевой полиэтилен и доставляли в лабораторию для дальнейшей камеральной обработки.

Анализ на содержание химических элементов провели в химической лаборатории Референтного центра Управления Федеральной службы

Россельхознадзора по Красноярскому краю (г. Красноярск) на атомно-абсорбционных спектрофотометрах Sollar (TJA Solution, США) и Varian (Agilent Technologies, США). У каждой особи определяли концентрацию биогенных элементов (меди, железа и цинка) и тяжелых металлов (свинца и кадмия) в мышцах, печени и почках. Концентрацию элементов определяли в пересчете на натуральную влажность. Содержание влаги составило: мышечная ткань 69–73 %, почки 74–78 %, печень 70–73 %.

Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения MS Excel (Office 2019) и Statgraphics (19-X64) общепринятыми методами [19]. Для описания выборок определяли среднее значение (M), ошибку среднего (m), стандартное отклонение (± SD), медиану (Med), 25 и 75 % процентили. Поскольку распределение части выборки отличалось от нормального, помимо стандартных методов вариационной статистики, применялся непараметрический анализ: для сравнения достоверности различий использовали критерии Манна-Уитни (U) и Краскела-Уоллиса (H). Взаимосвязь между параметрами оценивалась методом ранговой корреляции Спирмена. Влияние фактора считалось достоверно значимым при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Показатели концентрации свинца, кадмия, меди, цинка и железа в печени, почках и мышечной ткани самок и самцов зайца-беляка (*Lepus timidus* L.) на фоновых и загрязненных территориях представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Установлено, что на загрязненных территориях концентрация свинца у самок в мышцах составила 0,16 ± 0,03 мг/кг н.в., в печени – 0,75 ± 0,16 мг/кг н.в., в почках – 0,41 ± 0,10 мг/кг н.в. Это достоверно выше в 5,33 раз (p = 0,00), 18,75 раз (p = 0,00) и 20,5 раз (p = 0,00) соответственно по сравнению с фоновыми территориями.

Выявлены корреляционные связи между отдельными металлами применительно как к/по содержанию элементов на одной территории, но разным органам и тканям (табл. 3), так и к территориям с разным уровнем загрязнения (табл. 4).

Таблица 1. Микроэлементный состав органов и тканей самок зайца-беляка, мг/кг н.в. фоновых и загрязненных территорий Красноярского края

Table 1. Trace elements in organs and tissues of female hares, mg/kg w.w. from reference sites and technogenic areas of the Krasnoyarsk Region

Элемент	Среднее значение (M)	Ошибка среднего (m)	Стандартное отклонение (± SD)	Медиана (Med)	min	max
Фоновая территория						
Скелетная мускулатура (n = 19)						
Fe	69,13	4,52	19,18	75,00	32,00	96,00
Cu	8,76	0,48	2,06	8,60	5,50	12,00
Zn	16,00	0,80	3,39	16,00	10,00	23,00
Pb	0,03	0,00	0,01	0,03	0,02	0,06
Cd	0,03	0,00	0,02	0,02	0,01	0,12
Печень (n = 19)						
Fe	133,36	5,63	23,92	134,00	92,00	168,00
Cu	29,84	2,39	10,17	28,00	12,00	47,00
Zn	38,10	2,48	10,54	37,00	24,00	57,00
Pb	0,04	0,00	0,01	0,04	0,02	0,07
Cd	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,06
Почки (n = 19)						
Fe	52,94	1,30	5,55	52,00	45,00	62,00
Cu	10,47	0,33	1,42	11,00	8,00	13,00
Zn	33,94	2,38	10,13	32,00	18,00	51,00
Pb	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,04
Cd	0,04	0,00	0,01	0,05	0,03	0,06
Загрязненная территория						
Скелетная мускулатура (n = 22)						
Fe	55,27	2,27	10,42	57,00	36,00	75,00
Cu	6,43	0,44	2,03	6,50	2,00	10,50
Zn	30,36	3,50	16,08	29,50	10,00	55,00
Pb	0,16	0,00	0,03	0,15	0,12	0,23
Cd	0,35	0,10	0,46	0,14	0,08	1,80

Продолжение Таблицы 1

Элемент	Среднее значение (M)	Ошибка среднего (m)	Стандартное отклонение (± SD)	Медиана (Med)	min	max
Печень (n = 22)						
Fe	139,22	12,03	55,15	115,50	91,00	280,00
Cu	22,00	0,93	4,27	23,00	12,00	26,50
Zn	57,18	5,83	26,75	55,50	12,00	112,00
Pb	0,75	0,03	0,16	0,72	0,52	1,20
Cd	0,35	0,02	0,10	0,35	0,16	0,55
Почки (n = 22)						
Fe	89,18	8,44	38,68	78,00	36,00	187,00
Cu	15,15	1,44	6,60	11,75	8,00	26,00
Zn	16,79	1,44	6,60	14,05	9,40	29,00
Pb	0,41	0,02	0,10	0,40	0,27	0,65
Cd	0,61	0,02	0,11	0,57	0,41	0,87

Таблица 2. Микроэлементный состав мышечной ткани самцов зайца-беляка, мг/кг н.в. фоновых и загрязненных территорий Красноярского края

Table 2. Trace elements in organs and tissues of male hares, mg/kg w.w. from reference sites and technogenic areas of the Krasnoyarsk Region

Элемент	Среднее значение (M)	Ошибка среднего (m)	Стандартное отклонение (± SD)	Медиана (Med)	min	max
Фоновая территория (n = 32)						
Fe	59,90	1,21	6,74	59,50	48,00	71,00
Cu	12,14	0,44	2,46	12,00	11,00	14,00
Pb	0,02	0,00	0,00	0,03	0,02	0,04
Cd	0,03	0,00	0,00	0,04	0,02	0,05
Загрязненная территория (n = 34)						
Fe	148,23	10,23	58,78	146,50	102,00	458,00
Cu	23,97	0,30	1,73	24,00	19,00	27,00
Pb	0,73	0,01	0,09	0,75	0,35	0,87
Cd	0,45	0,01	0,07	0,46	0,25	0,61

Таблица 3. Статистически значимые корреляционные связи ($p < 0,05$) концентрации микроэлементов в органах и тканях самок зайца-беляка Красноярского края

Table 3. Statistically significant correlations ($p < 0.05$) of trace metals in organs and tissues of female hares

Пары	Корреляция	p
Pb фон мышцы – Pb фон печень	0,49	0,03
Pb загрязненная мышцы – Pb фон печень	–0,54	0,02
Pb загрязненная мышцы – Pb загрязненная печень	0,58	0,00
Pb фон печень – Pb фон почки	0,81	0,00
Pb загрязненная печень – Pb загрязненная почки	0,73	0,00
Cd фон мышцы – Cd загрязненная мышцы	0,55	0,01
Cd фон мышцы – Cd фон печень	0,55	0,01
Cd загрязненная мышцы – Cd загрязненная печень	0,68	0,00
Cd загрязненная мышцы – Cd фон почки	–0,46	0,04
Cd загрязненная мышцы – Cd загрязненная почки	0,49	0,02
Cd загрязненная печень – Cd загрязненная почки	0,54	0,01
Cu фон мышцы – Cu фон печень	0,55	0,01
Cu фон мышцы – Cu фон почки	0,55	0,01
Cu фон печень – Cu фон почки	0,62	0,00
Fe фон мышцы – Fe фон печень	0,95	0,00
Fe фон мышцы – Fe фон почки	0,74	0,00
Fe фон печень – Fe фон почки	0,77	0,00
Zn загрязненная мышцы – Zn загрязненная печень	0,46	0,03
Zn фон печень – Zn фон почки	0,72	0,00

Таблица 4. Статистически значимые корреляционные связи ($p < 0,05$) концентрации микроэлементов в органах и тканях самок зайца-беляка на фоновых и загрязненных территориях Красноярского края

Table 4. Statistically significant correlations ($p < 0.05$) of trace metals in organs and tissues of female hares from reference sites and technogenic areas of the Krasnoyarsk Region

Пары	Загрязненная территория		Фоновая территория	
	Корреляция	*p*	Корреляция	*p*
Cd печень – Zn печень	0,50	0,01	–	–
Cd печень – Zn почки	0,50	0,01	–	–
Cd почки – Zn печень	0,50	0,01	–	–
Cd почки – Zn почки	0,50	0,01	–	–
Cd мышцы – Pb печень	0,50	0,02	–0,51	0,02
Cd мышцы – Pb почки	0,50	0,02	–0,51	0,02
Cd мышцы – Pb мышцы	0,43	0,04	–	–
Pb печень – Zn печень	–	–	–0,73	0,00
Pb печень – Zn почки	–	–	–0,73	0,00
Pb почки – Zn печень	–	–	–0,73	0,00
Pb почки – Zn почки	–	–	–0,73	0,00
Cu печень – Zn печень	0,43	0,04	0,76	0,00
Cu печень – Zn почки	0,43	0,04	0,76	0,00
Cu печень – Pb печень	–	–	–0,61	0,00
Cu печень – Pb почки	–	–	–0,61	0,00
Cu почки – Zn печень	0,43	0,04	0,76	0,00
Cu почки – Zn почки	0,43	0,04	0,97	0,00
Cu почки – Pb печень	–	–	–0,61	0,00
Cu почки – Pb почки	–	–	–0,61	0,00
Fe печень – Zn печень	0,45	0,03	–	–
Fe печень – Zn почки	0,45	0,03	–	–
Fe почки – Zn печень	0,45	0,03	–	–
Fe почки – Zn почки	0,45	0,03	–	–
Fe печень – Pb мышцы	–	–	0,50	0,03
Fe почки – Pb мышцы	–	–	0,60	0,01
Fe мышцы – Pb печень	–	–	0,52	0,02
Fe мышцы – Pb почки	–	–	0,52	0,02
Fe мышцы – Pb мышцы	–	–	0,51	0,02

Анализ корреляционных связей концентрации свинца во внутренних органах зайца-беляка установил тесную положительную связь между его концентрацией в печени и почках как на фоновых территориях ($r = 0,81$, $p = 0,00$), так и на загрязненных ($r = 0,73$, $p = 0,00$); среднюю положительную корреляцию между концентрацией свинца в мышцах и печени на фоновых ($r = 0,49$, $p = 0,03$) и загрязненных территориях ($r = 0,58$, $p = 0,00$); среднюю отрицательную связь между концентрацией свинца в печени на фоновых территориях и в мышцах на загрязненных ($r = –0,54$, $p = 0,02$).

На загрязненных территориях в организме самок зайца-беляка концентрация кадмия в мышцах составила 0,35 ± 0,46 мг/кг н.в., в печени – 0,35 ± 0,10 мг/кг н.в., в почках – 0,61 ± 0,11 мг/кг н.в. Это достоверно выше в 11,66 раз ($p = 0,00$), 17,5 раз ($p = 0,00$) и 15,25 раз ($p = 0,00$) соответственно по сравнению с фоновыми территориями.

Анализ корреляционных связей концентрации кадмия во внутренних органах установил положительную связь между его концентрацией в мышцах и печени на загрязненных ($r = 0,68$, $p = 0,00$) и фоновых территориях ($r = 0,55$, $p = 0,01$); среднюю положительную связь на загрязненных территориях между концентрацией в печени и почках ($r = 0,54$, $p = 0,01$), а также мышцах и почках ($r = 0,49$, $p = 0,02$). Выявлена средняя отрицательная связь между концентрацией кадмия в мышцах на загрязненных территориях и в почках на фоновых ($r = –0,46$, $p = 0,04$).

На загрязненных территориях отмечено достоверное снижение концентрации меди в мышцах (6,43 ± 2,03 мг/кг н.в.) и в печени (22,00 ± 4,27 мг/кг н.в.), что в 1,36 раз ($p = 0,00$) и 1,35 раз ($p = 0,03$) соответственно ниже по сравнению с фоновыми территориями. В почках на загрязненных территориях концентрация меди составила

15,15 ± 6,60 мг/кг н.в., что выше в 1,44 раз (p = 0,03), чем на фоновых территориях.

Анализ корреляционных связей концентрации меди во внутренних органах установил тесную положительную связь между ее концентрацией на фоновых территориях в печени и почках (r = 0,62, p = 0,00), а также среднюю в мышцах и печени (r = 0,55, p = 0,01) и в мышцах и почках (r = 0,55, p = 0,01).

Концентрация железа на загрязненных территориях в мышцах самок составила 55,27 ± 10,42 мг/кг н.в., что ниже в 1,19 раз (p = 0,01), чем на фоновых территориях; в почках – 89,18 ± 38,68 мг/кг н.в., что выше в 1,68 раз (p = 0,00), чем на фоновых территориях.

Анализ корреляционных связей концентрации железа во внутренних органах установил тесную положительную связь между его концентрацией на фоновых территориях в печени и почках (r = 0,77, p = 0,00), мышцах и печени (r = 0,95, p = 0,00), а также мышцах и почках (r = 0,74, p = 0,00).

На загрязненных территориях достоверно установлена более высокая концентрация цинка в мышцах самок (30,36 ± 16,08 мг/кг н.в.) и печени (57,18 ± 26,75 мг/кг н.в.), что выше в 1,89 раз (p = 0,01) и 1,50 раз (p = 0,00) соответственно по сравнению с фоновыми территориями. В почках концентрация цинка на загрязненных территориях составила 16,79 ± 6,60 (p = 0,00), что ниже в 2,02 раза, чем на фоновых территория.

Установлена тесная положительная корреляционная связь между концентрацией цинка в печени и почках (r = 0,72, p = 0,00) на фоновых территориях и средняя положительная корреляционная связь в мышцах и печени (r = 0,46, p = 0,03) на загрязненных территориях.

Концентрация ртути в мышцах, печени и почках на загрязненных территориях варьировалась в пределах 0,01–0,025 мг/кг н.в. и была достоверно выше аналогичных показателей для фоновых территорий.

Кроме того, на фоновых территориях установлена тесная отрицательная корреляционная связь между концентрациями меди и свинца в печени (r = –0,61, p = 0,00), меди в печени и свинца в почках (r = –0,61, p = 0,00), меди в почках и свинца в печени (r = –0,61, p = 0,00), меди и свинца в почках (r = –0,61, p = 0,00), свинца и цинка в печени (r = –0,73, p = 0,00), свинца в печени и цинка в почках (r = –0,73, p = 0,00), свинца в почках и цинка в печени (r = –0,73, p = 0,00), свинца и цинка в почках (r = –0,73, p = 0,00). Отмечена средняя положительная корреляционная связь между концентрациями железа в печени и свинца в мышцах (r = 0,50, p = 0,03), железа в почках и свинца в мышцах (r = 0,60, p = 0,03), а также железа в мышцах и свинца в печени (r = 0,52, p = 0,02), в почках (r = 0,52, p = 0,02) и мышцах (r = 0,51, p = 0,02).

На загрязненных территория установлена средняя корреляционная связь между содержанием в печени кадмия и цинка (r = 0,50, p = 0,01), кадмия в печени и цинка в почках (r = 0,50, p = 0,01), кадмия в почках и цинка в печени (r = 0,50, p = 0,01), кадмия и цинка в почках (r = 0,50, p = 0,01), кадмия и свинца в мышцах (r = 0,50, p = 0,02), железа и цинка в печени (r = 0,45, p = 0,03), железа в печени и цинка в почках (r = 0,45, p = 0,03), железа в почках и цинка в печени (r = 0,45, p = 0,03), а также железа и цинка в почках (r = 0,45, p = 0,03).

Как на фоновых, так и на загрязненных территориях установлена корреляционная связь между кадмием в мышцах и свинцом в печени (r = –0,51, p = 0,02 и r = 0,50, p = 0,02 соответственно), между кадмием в мышцах и свинцом в почках (r = –0,51, p = 0,02 и r = 0,50, p = 0,02 соответственно), между медью и цинком в печени (r = 0,76, p = 0,00 и r = 0,43, p = 0,04 соответственно), между медью в печени и цинком в почках (r = 0,76, p = 0,00 и r = 0,43, p = 0,04 соответственно), между медью в почках и цинком в печени (r = 0,76, p = 0,00 и r = 0,43, p = 0,04 соответственно) и между медью и цинком в почках (r = 0,97, p = 0,00 и r = 0,43, p = 0,04 соответственно).

Установлено, что на загрязненных территориях концентрация свинца в мышцах зайца-беляка составила 0,73 ± 0,09 мг/кг н.в., кадмия – 0,45 ± 0,07 мг/кг н.в., меди – 23,97 ± 1,73 мг\кг н.в., железа – 148,23 ± 58,78 мг/кг н.в., что в 36,5, 15,0, 1,97 и 2,47 раз соответственно достоверно (p = 0,00) выше по сравнению с фоновыми территориями.

Масса тела самцов на фоновых (n = 31) и загрязненных (n = 33) территориях достоверно не различалась и составляла в среднем 4840 и 4832 г соответственно. Однако вариабельность показателей на фоновых территориях была меньше.

Анализ корреляционных связей концентраций тяжелых металлов в мышцах самцов зайца-беляка

Таблица 5. Статистически значимые корреляционные связи (p < 0,05) концентрации микроэлементов в органах и тканях самцов зайца-беляка Красноярского края

Table 5. Statistically significant correlations (p < 0.05) of trace elements in organs and tissues of male hares in the Krasnoyarsk Region

Пары	Корреляция	p
Cd загрязненная – Fe загрязненная	–0,40	0,01
Cd загрязненная – Pb фон	–0,49	0,00
Cd фон – Fe загрязненная	0,43	0,01
Cd фон – Fe фон	–0,50	0,00
Fe загрязненная – Fe фон	–0,65	0,00

установил среднюю отрицательную корреляционную связь между концентрациями кадмия и железа на загрязненных территориях (r = –0,40, p = 0,01) и между концентрациями кадмия и железа на фоновых территориях (r = –0,50, p = 0,00), а также положительную корреляционную связь между концентрациями кадмия на фоновых территориях и железа на загрязненных (r = 0,43, p = 0,01). Установлена отрицательная корреляционная связь между концентрациями кадмия на загрязненных территориях и свинца на фоновых (r = –0,49, p = 0,00), между концентрациями железа на загрязненных и фоновых территориях (r = –0,65, p = 0,00), а также между концентрациями железа на загрязненных территориях и массой животных на фоновых (r = –0,60, p = 0,00) и между концентрациями железа и массой тела на фоновых территориях (r = 0,53, p = 0,00).

Некоторые тяжелые металлы являются естественными компонентами окружающей среды, но в последние десятилетия индустриальное развитие ответственно за широкую диффузию этих веществ и, как следствие, химическое загрязнение воды, почвы и атмосферы. Многие микроэлементы накапливаются в почвах и кормовых растениях, а при поедании животными этих растений переходят на высшие уровни трофической пирамиды.

Железо, медь и цинк – жизненно необходимые элементы, недостаток которых приводит к нарушению биологических функций. Тем не менее присутствующие в избытке эссенциальные металлы могут стать токсичными [20]. Физиологическая роль кадмия и свинца неизвестна, но в больших дозах они смертельно токсичны.

Исследовали печень и почки зайца-беляка, т. к. именно в этих органах часто накапливаются самые высокие концентрации тяжелых металлов, а также скелетную мускулатуру, которая чаще всего употребляется в пищу, как уже описано в научной литературе [21].

По нашим данным, содержание свинца и кадмия в печени и почках зайцев-беляков на загрязненных территориях выше, чем на участках, рассматриваемых в качестве фоновых. Разница возникает из-за эмиссии тяжелых металлов крупными горнодобывающими и металлургическими предприятиями, чему способствует направление господствующих ветров. Выбросы предприятий ГМК «Норильский никель», расположенных в городах Кайеркан и Норильск, распространяются в северном и северо-западном направлениях, особенно быстро это происходит во время зимних метелей. Скапливаясь в понижениях рельефа, загрязненные снежные массы определяют повышенное поступление микроэлементов в кустарники и травянистые растения. Именно эти участки служат кормовыми биотопами зайца-беляка.

Микроэлементный состав тканей зайца-беляка на территории исследований соответствует аналогичным показателям тканей зайцеобразных различных регионов мира (табл. 6). Содержание меди и железа в печени и почках примерно соответствовало аналогичным показателям зайцеобразных арктических регионов (*Lepus arcticus* и *Lepus timidus*), а уровни цинка были в 2–4 раза ниже, чем у зайцев с техногенно-загрязненных территорий Северной Европы и Канады [15, 16].

Несмотря на то что железо, медь и цинк являются эссенциальными элементами, попадая в окружающую среду с промышленными выбросами, они могут накапливаться в избыточных количествах, вызывая отравления [31]. Для лабораторных и сельскохозяйственных животных показана возможность антагонистического взаимодействия некоторых биогенных элементов и токсикантов [32–35]. Выявленные на территории Красноярского края различия в содержании железа, меди и цинка на фоновых и загрязненных территориях могут быть связаны с антагонизмом биогенных элементов и токсичных металлов в организме.

В печени зверьков на загрязненной территории Красноярского края среднее содержание свинца составило 0,75 ± 0,16 мг/кг н.в. Средняя концентрация свинца в пробах печени зайца-русака (*Lepus europaeus*) из Воеводины (Сербия) несколько выше – 0,84 мг/кг н.в. [28]. Исследователи из Польши обнаружили свинец в образцах заячьей печени в диапазоне 0,30–3,63 мг/кг н.в., почках – в пределах 0,22–6,30 мг/кг н.в. Наибольшее количество свинца выявлено в печени (1,24 ± 0,59 мг/кг н.в.) и почках зайцев из окрестностей Кракова, где сконцентрирована тяжелая промышленность [25]. Концентрация свинца в образцах с загрязненных территорий Красноярского края ниже, по сравнению с пробами печени капского зайца (*Lepus capensis*) из Пакистана, и примерно втрое ниже, чем в почках и печени зайцев-русаков из Турции [22, 24]. Концентрация свинца схожа с показателями зайцев-беляков Норвегии, Финляндии и Кировской области России и в 3–4 раза выше, чем у иберийских зайцев (*Lepus granatensis*) непромышленных регионов Испании и зайцев-русаков из Словакии [15–18, 20, 27, 30]. Содержание свинца в органах и тканях зайцев-беляков фонового полигона Красноярского края аналогично показателям, полученным для зайцеобразных из незагрязненных регионов [20, 27].

По нашим данным, самые высокие концентрации кадмия зафиксированы в почках зайцев-беляков. Аналогичная картина наблюдалась у других видов [30, 36–39]. Значения содержания кадмия в печени и почках зайцев-беляков на фоновых территориях Красноярского края ниже описанных для зайцеобразных неиндустриальных регионов Европы, т. к. данный тяжелый металл попадает в окружаю-

щую среду в результате промышленных выбросов и деятельности аграрного комплекса.

На загрязненных территориях Красноярского края среднее содержание кадмия составило 0,35 ± 0,10 мг/кг н.в. в печени и 0,61 ± 0,11 мг/кг н.в. в почках. Это ниже аналогичных показателей промышленных и горнодобывающих районов Канады, Польши, Турции и Сербии и сопоставимо с уровнем кадмия в организме зайцеобразных неиндустриальных территорий [23–29].

Предполагается, что повреждение почек млекопитающих происходит при концентрации кадмия 80–200 мг/кг н.в. [40]. В нашем исследовании опасные концентрации кадмия в почках зайцев-беляков не выявлены.

Таким образом, содержание свинца и кадмия в организме зайцев-беляков с фоновых участков Красноярского края оказалось не высоким, по сравнению с данными по зайцеобразным из других стран, а на полигонах, где предполагается антропогенная контаминация, не превосходило показатели загрязненных территорий других регионов.

Уровни железа, цинка, меди, ртути, кадмия и свинца в организме зайцев-беляков на территории Красноярского края не представляют риска для здоровья этих животных.

«Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» от 28 мая 2010 г. № 299 разработаны в целях реализации положений Соглашения таможенного союза России, Белоруссии и Казахстана. Они устанавливают гигиенические показатели и нормативы безопасности товаров на таможенной границе и всей территории стран-членов таможенного союза и обязательны для соблюдения органами власти, юридическими и физическими лицами. Единые санитарные требования впервые в отечественной практике регулируют качество мясо-дичной и прочей продукции промысловых и диких животных: в мясной продукции, используемой для потребления человеком, предельно допустимый уровень свинца составляет для мяса 0,5 мг/кг н.в., для печени – 0,6 мг/кг н.в., для почек – 1 мг/кг н.в.; кадмия для мяса – 0,05 мг/кг н.в.,

Таблица 6. Содержание тяжелых металлов и биогенных элементов (M, lim, n) в тканях зайцеобразных различных регионов мира

Table 6. Trace and biogenic elements (M, lim, n) in tissues of lagomorphs from different regions of the world

Вид зайцеобразных	Регион	Скелетная мускулатура	Печень	Почки	Список литературы
Железо					
Lepus capensis	Пакистан	59,57 (34,70–86,40)* n = 21	133,10 (96,80–212,50)* n = 21	83,50 (3,60–159,70)* n = 21	[22]
Lepus timidus	Россия	28,73 (19,80–58,10)* n = 6	205,70 (17,43–611,19)* n = 40	134,40 (3,10–284,65)* n = 37	[18]
Медь					
Lepus arcticus	Канада	10,11 (7,64–13,80)*	14,58 (11,60–17,42)*	13,90 (13,03–14,69)*	[23]
Lepus capensis	Пакистан	3,45 (1,50–7,60)* n = 21	3,95 (2,00–6,10)* n = 21	3,33 (1,00–5,20)* n = 21	[22]
Lepus europaeus	Турция	0,63** n = 15	2,34** n = 15	1,91** n = 15	[24]
Lepus granatensis	Испания	–	2,94–3,08 (0,45–6,01)** n = 65	2,42–2,72 (0,91–3,83)** n = 65	[20]
Lepus timidus	Норвегия	–	9,60–18,30* n = 31	14,30–18,90* n = 31	[16]
Lepus timidus	Россия	2,60 (1,21–4,21)* n = 6	20,95 (3,15–90,2)* n = 40	13,33 (3,21–30,41)* n = 37	[18]
Цинк					
Lepus arcticus	Канада	70,8 (43,2–105,6)*	116,90 (87,90–170,50)*	170,70 (141,80–265,30)*	[23]
Lepus europaeus	Турция	20,35** n = 15	40,51** n = 15	32,65** n = 15	[24]
Lepus granatensis	Испания	–	23,32–25,02 (10,49–51,72)** n = 65	18,52–21,82 (8,01–26,89)** n = 65	[20]
Lepus timidus	Норвегия	–	77,00–115,00* n = 31	92,00–132,00* n = 31	[16]
Lepus timidus	Россия	43,88 (28,80–79,10)* n = 6	94,15 (20,44–201,51)* n = 40	70,83 (18,11–165,12)* n = 37	[18]

Продолжение Таблицы 6

Вид зайцеобразных	Регион	Скелетная мускулатура	Печень	Почки	Список литературы
Свинец					
Lepus arcticus	Канада	0,01 (0,00–0,01)*	0,20 (0,00–0,36)*	0,22 (0,12–0,41)*	[23]
Lepus capensis	Пакистан	25,61 (0,30–139,00)* n = 21	28,67 (1,00–116,40)* n = 21	19,68 (6,30–28,20)* n = 21	[22]
Lepus europaeus	Польша	–	1,24 (0,30–3,63)** n = 164	1,20 (0,22–6,3)** n = 163	[25]
Lepus europaeus	Турция	7,83** n = 15	2,19** n = 15	1,23** n = 15	[24]
Lepus europaeus	Польша	0,04–0,38** n = 60	0,33–3,53** n = 60	0,22–3,22** n = 60	[26]
Lepus europaeus	Словакия	–	0,22 (0,01–1,20)* n = 74	0,12 (0,01–0,72)* n = 74	[27]
Lepus europaeus	Сербия	–	0,88 (0,06–3,70)** n = 196	–	[28]
Lepus granatensis	Испания	–	0,08–0,23 (0–0,23)** n = 65	0,06–0,10 (0,03–0,26)** n = 65	[20]
Lepus timidus	Финляндия	0–1,76** n = 12	0,10–1,18** n = 12	–	[15]
Lepus timidus	Норвегия	–	0,15–164,00* n = 31	0,15–0,67* n = 31	[16]
Lepus timidus	Россия	0,87 (0,48–1,48)* n = 6	2,12 (0,32–3,90)* n = 40	2,04 (0,12–5,7)* n = 37	[18]
Кадмий					
Lepus arcticus	Канада	0,08 (0,03–0,20)*	4,58 (1,68–10,90)*	106,60 (55,20–219,90)*	[23]
Lepus capensis	Пакистан	1,27 (0,10–3,40)* n = 21	1,50 (0,20–3,20)* n = 21	1,53 (0,20–3,50)* n = 21	[22]
Lepus europaeus	Польша	–	1,65 (0,13–6,98)** n = 164	14,70 (0,96–83,36)** n = 163	[25]
Lepus europaeus	Турция	1,19** n = 15	0,83** n = 15	4,49** n = 15	[24]
Lepus europaeus	Польша	0,04–0,28** n = 60	0,08–3,19** n = 60	1,50–49,12** n = 60	[26]
Lepus europaeus	Словакия	–	0,16 (0–1,00)* n = 74	1,57 (0–4,72)* n = 74	[27]
Lepus europaeus	Сербия	–	0,24 (0–1,41)** n = 196	–	[28]
Lepus europaeus	Сербия	–	0,05–0,20 (0,01–0,41)** n = 63	0,39–2,37 (0,06–5,36)** n = 63	[29]
Lepus granatensis	Испания	–	0,05–0,12 (0,01–0,26)** n = 65	0,35–0,76 (0,02–2,16)** n = 65	[20]
Lepus timidus	Финляндия	0,01–0,54** n = 12	0,08–0,52** n = 12	–	[15]
Lepus timidus	Норвегия	–	0,53–5,00* n = 31	1,90–99,00* n = 31	[16]
Lepus timidus	Россия	0,11 (0,08–0,20)* n = 6	0,65 (0–2,00)* n = 40	0,92 (0,12–11,1)* n = 37	[18]
Oryctolagus cuniculus	Словакия		0,14 (0,01–0,33)* n = 20	0,46 (0,23–0,84)* n = 20	[30]

*мг/кг с.в.; **мг/кг н.в. *mg/kg d.w.; **mg/kg w.w.

для печени – 0,3 мг/кг н.в., для почек – 1 мг/кг н.в.; показатели для ртути составляют 0,03, 0,1 и 0,2 мг/кг н.в. соответственно.

На фоновом участке Красноярского края превышений допустимого уровня содержания свинца в органах и тканях зайцев-беляков не выявлено. В то же время на полигоне, где предполагается техногенное загрязнение, 37 % проб скелетной мускулатуры и 43 % проб печени содержали опасные концентрации этого металла (рис. 1). Превышение предельно

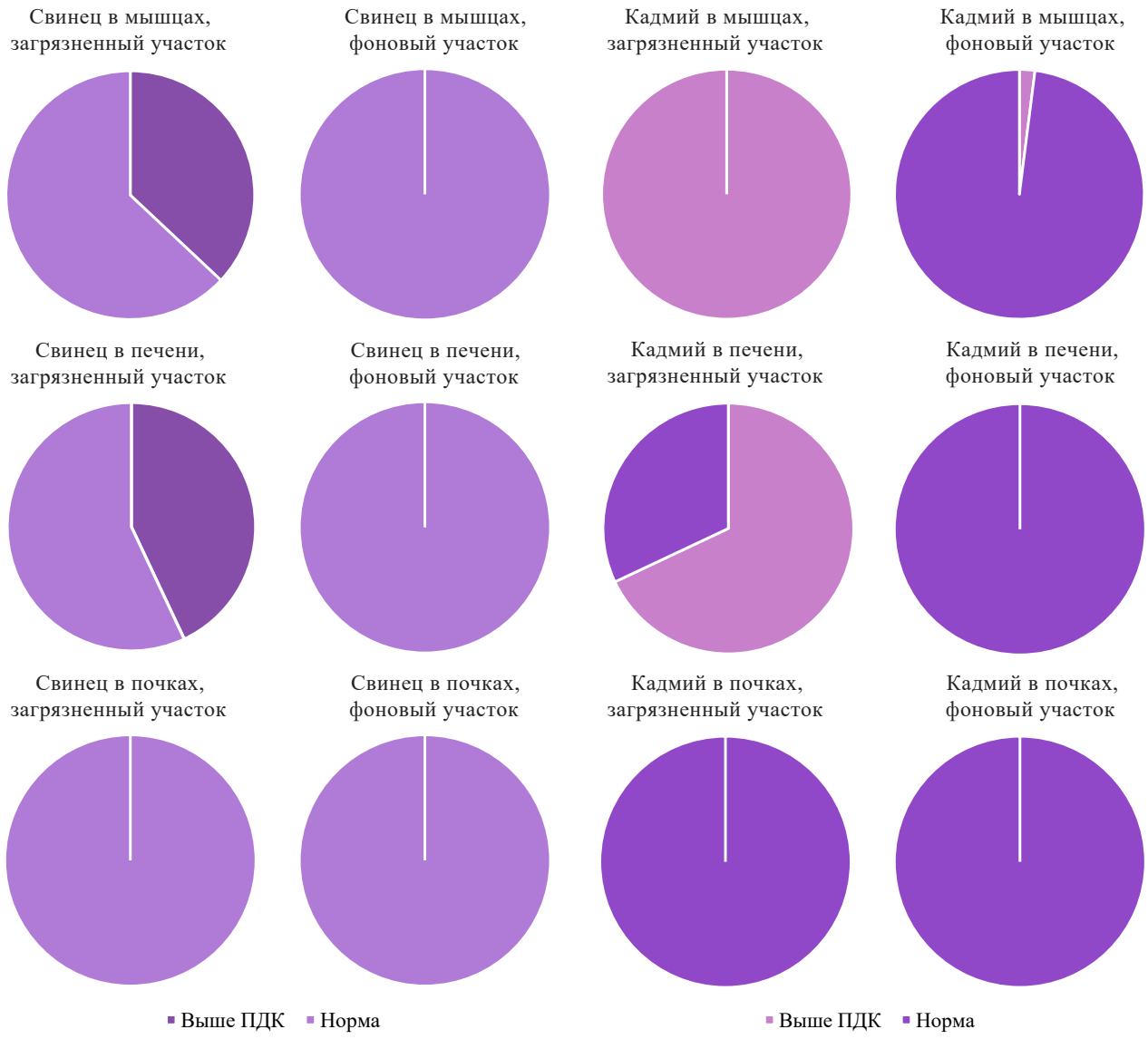


Рисунок 1. Доля проб органов и тканей зайцев-беляков фоновых и загрязненных территорий Красноярского края, содержащих повышенные уровни свинца

Figure 1. Proportion of lead-contaminated organs and tissues of mountain hares from reference sites and technogenic areas of the Krasnoyarsk Region

Рисунок 2. Доля проб органов и тканей зайцев-беляков с территории Красноярского края, содержащих повышенные уровни кадмия

Figure 2. Proportion of cadmium-contaminated organs and tissues of mountain hares from reference sites and technogenic areas of the Krasnoyarsk Region

допустимого уровня составляло не более чем в два раза. Аномально высоких концентраций свинца, отмечаемых в организме диких животных во многих промышленно развитых странах, выявлено не было.

Все пробы скелетной мускулатуры зайцев загрязненного участка содержали опасные концентрации кадмия (рис. 2). Среднее содержание кадмия в мышцах превышало допустимый уровень в 17 раз, а в отдельных пробах – в 20–30 раз. На фоновом участке превышение предельно допустимого уровня отмечено только в одной пробе мышечной ткани. На загрязненном полигоне 68 % проб печени содержали концентрации кадмия, превышающие предельно допустимый уровень, но аномально высоких концентраций здесь не выявлено.

Концентрация ртути ни в одном из замеров не превысила предельно допустимый уровень для мяса и субпродуктов.

Таким образом, значительная часть проб печени и все пробы мяса зайцев-беляков с участков, где предполагалось техногенное воздействие, оказались непригодны в пищу по причине загрязнения свинцом и кадмием. Осуществление охоты на этих участках может представлять токсическую опасность

для коренных и малочисленных народов севера, проживающих на этих территориях, и членов их семей.

Выводы

На севере Красноярского края выявлены достоверные различия концентраций биогенных и токсичных элементов в печени, почках и мышцах зайцев-беляков на фоновых территориях и участках, где предполагается промышленное загрязнение. В организме зайцев на загрязненных территориях выше содержание тяжелых металлов – свинца, кадмия и ртути, а на фоновых участках больше биогенных элементов – меди, цинка и железа. Подобные отличия могут быть связаны с антагонизмом биогенных элементов и токсичных металлов в организме.

Выявленные корреляции между отдельными металлами в органах и тканях могут указывать на общие источники поступления поллютантов в окружающую среду на исследуемой территории.

Уровни железа, цинка, меди, кадмия, ртути и свинца в организме зайцев-беляков на территории Красноярского края не представляют риска для здоровья этих животных.

Около 40 % проб печени и все пробы мышечной ткани зайцев, отловленных на загрязненном участке, оказались не пригодны в пищу по причине содержания опасных концентраций свинца и кадмия. Концентрация ртути ни в одном из замеров не превысила предельно допустимый уровень для мяса и субпродуктов. Осуществление охоты на участках техногенного загрязнения может представлять токсическую опасность для представителей коренных и малочисленных народов севера, проживающих на этих территориях, и членов их семей. В связи с этим представляется необходимым изучение гигиенических параметров мясо-дичной продукции других значимых для аборигенов видов, в первую очередь дикого северного оленя, белой куропатки и водоплавающих птиц.

Критерии авторства

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за достоверность информации и уникальность разработок.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Зайцы-беляки добывались охотниками из числа КМНС А. Н. Бету, Н. Н. Поротовым и З. И. Веселовской. В обработке биологического материала и лабораторных работах принимали участие сотрудники «Референтного центра» Управления ФС «Россельхознадзора» по Красноярскому краю. Авторы выражают всем участникам работ искреннюю благодарность.

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Acknowledgements

The authors express their sincere gratitude to indigenous hunters A.N. Betu, N.N. Porotov, and Z.I. Veselovskaya, as well as the team of the Reference Center of the Krasnoyarsk Federal Rosselkhoznadzor Service, who helped to process the biological material.

References/Список литературы

1. Bremmer I. Topics in environmental health. Research and Reviews: Journal of Veterinary Sciences. 1979;2(1):2016–2020.

2. Celechovská O, Malota L, Zima S. Entry of heavy metals into food chains: A 20-year comparison study in Northern Moravia (Czech Republic). Acta Veterinaria Brno. 2008;77:645–652. https://doi.org/10.2754/avb200877040645

3. Dvornikov MG, Domskiy IA, Shiryaev VV, Sergeev AA. Ecology, conservation, and use of game resources in the North-East of Europe. Kirov: VESI; 2021. 291 p. (In Russ.). [Экология, сохранение и использование ресурсов промысловых млекопитающих на Северо-Востоке Европы / М. Г. Дворников [и др.]. Киров: ВЕСИ, 2021. 291 с.].

4. Kaledin AP, Stepanova MV. Bioaccumulation of trace elements in vegetables grown in various anthropogenic conditions. Foods and Raw Materials. 2023;11(1):10–16. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-551

5. Bat L, Arici E, Öztekin A, Şahin Fa. Farmed Turkish salmon: Toxic metals and health threat. Foods and Raw Materials. 2021;9(2):317–323. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-317-323

6. Bires J, Maracek I, Bartko P, Biresova M, Weissova T. Accumulation of trace elements in sheep and the effects upon qualitative and quantitative ovarian changes. Veterinary and Human Toxicology. 1995;37(4):349–356.

7. Rous P, Jelinek P. The effect of increased soil contamination with heavy metals on their content in some rabbits tissues. Czech Journal of Animal Science. 2000;45(7):319–324.

8. Toman R, Massány P. Cadmium in selected organs of fallow-deer *(Dama dama*), sheep (*Ovis aries*), Brown hare (*Lepus europaeus*) and Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in Slovakia. Journal of Environmental Science and Health. Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology. 1996;31(5):1043–1051. https://doi.org/10.1080/10934529609376406

9. Saveljev A, Sergeyev A, Grebnev I, Chirkov S, Sotnikov V. The hunting resources of a green belt of a big city in the East of Europe: number, sanitary parameters, and possibilities of sustainable harvest. Beiträge zur Jagd – und Wildforschung. 2013;38:69–80.

10. Tataruch F. Roe deer antlers as biomonitors for lead contamination. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 1995;55:332–337. https://doi.org/10.1007/BF00206669

11. Rattner BA, Shore RF. Ecotoxicology of wild mammals (Ecological and environmental toxicology series). Wiley; 2001. 752 p.

12. Sergeyev A, Safonov V. Investigations on the ecotoxicology of game animals in Russia. Proceedings of XXVIIth Congress of the International Union of Game Biologists; 2005; Hannover. Hamburg: Verlag Hamburg; 2005. p. 470–471.

13. Baikov B, Krynski A, Stoyanov M, Ivanova M, Guguva M, Topalski E, *et al.* Heavy metals in hare organs as bioindicators for environment pollution. Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences. 1994;47:93–96.

14. Safonov VG, Yegoshina TL, Sergeyev AA, Saveljev AP, Skumatov DV, Orlov PP, *et al.* Methodological aspects and opportunities for practical use of bioindication of biological objects. Modern Problems of Bioindication and Biomonitoring: Proceedings of the XI International Symposium on Bioindicators; 2001; Syktyvkar. Syktyvkar: FRC Komi SC UB RAS; 2001. p. 367–375. (In Russ.). [Методологические аспекты и возможности практического использования биоиндикации биологических объектов / В. Г. Сафонов [и др.] // Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга: Тезисы докладов XI Международного симпозиума по биоиндикаторам. Сыктывкар, 2001. С. 367–375.].

15. Pulliainen E, Lajunen LHJ, Itamies J, Anttila R. Lead and Cadmium in the liver and muscles of the mountain hare (*Lepus timidus*) in Northern Finland. Annales Zoologici Fennici. 1984;21(2):149–152.

16. Kålås JA, Ringsby TH, Lierhagen S. Metals and selenium in wild animals from Norwegian areas close to Russian nickel smelters. Environmental Monitoring and Assessment. 1995;36:251–270. https://doi.org/10.1007/BF00547905

17. Venäläinen E-R, Niemi A, Hirvi T. Heavy metals in tissues of hares in Finland, 1980–82 and 1992–93. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 1996;56:251–258. https://doi.org/10.1007/s001289900038

18. Zarubin BE, Ekonomov AV, Kolesnikov VV, Shevnina MS, Sergeev AA. The resources of mountain hare in the Kirov region and their use. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2021;60(4):87–102. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/1999-6837-2021-4-87-102

19. Ivanter EhV, Korosov AV. Biology of chemical elements. Petrozavodsk: PetrGU; 2010. 104 p. (In Russ.). [Ивантер Э. В., Коросов А. В. Элементарная биометрия. Петрозаводск: ПетрГУ. 2010. 104 с.].

20. Fidalgo L, de La Cruz B, Goicoa A, Espino L. Accumulation of zinc, copper, cadmium and lead in liver and kidney of the iberian hare (*Lepus granatensis*) from Spain. Research and Reviews. Journal of Veterinary Sciences. 2016;2(1):15–20.

21. Potthast K. Residues in meat and meat products. Fleischwirtsch. 1993;73:432–434.

22. Ahmed MS, Azam MA, Ahmed KS, Ali H. Accumulation of some heavy metals in selected tissues of cape hare, *Lepus capensis* from Pakistan. Pakistan Journal of Wildlife Archives. 2016;7(2):11–20.

23. Pedersen S, Lierhagen S. Erratum to "Heavy metal accumulation in arctic hares (*Lepus arcticus*) in Nunavut, Canada". Science of the Total Environment. 2006;370(2–3):588. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.08.025

24. Demirbaş Y, Erduran N. Concentration of selected heavy metals in brown hare (*Lepus europaeus*) and wild boar (*Sus scrofa*) from Central Turkey. Balkan Journal of Wildlife Research. 2017;4(2):26–33. https://doi.org/10.15679/bjwr.v4i2.54

25. Wajdzik M. Contents of cadmium and lead in liver, kidneys and blood of the European hare (*Lepus europaeus* Pallas 1778) in Malopolska. Journal Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria. 2006;5(2): 135–146.

26. Halecki W, Gąsiorek M, Wajdzik M, Pająk M, Kulak D. Population parameters including breeding season of the european brown hare (Lepus europaeus) exposed to cadmium and lead pollution. Fresenius Environmental Bulletin. 2017;26(4):2998–3004.

27. Massányi P, Tataruch F, Slameka J, Toman R, Jurík R. Accumulation of lead, cadmium, and mercury in liver and kidney of the brown hare (*Lepus europaeus*) in relation to the season, age, and sex in the West Slovakian Lowland. Journal of Environmental Science and Health, Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering. 2003;38(7):1299–1309. https://doi.org/10.1081/ese-120021127

28. Beuković D, Vukadinović M, Krstović S, Polovinski-Horvatović M, Jajić I, Popović Z, *et al.* The European hare (*Lepus europaeus*) as a biomonitor of lead (Pb) and cadmium (Cd) occurrence in the agro biotope of Vojvodina, Serbia. Animals. 2022;12(10). https://doi.org/10.3390/ani12101249

29. Petrović Z, Teodorović V, Djurić S, Milićević D, Vranić D, Lukić M. Cadmium and mercury accumulation in European hare (*Lepus europaeus*): Age-dependent relationships in renal and hepatic tissue. Environmental Science and Pollution Research. 2014;21(24):14058–14068. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3290-0

30. Kramárová M, Massányi P, Slamecka J, Tataruch F, Jancová A, Gasparik J, *et al.* Distribution of cadmium and lead in liver and kidney of some wild animals in Slovakia. Journal of Environmental Science and Health. Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering. 2005;40(3):593–600. https://doi.org/10.1081/ESE-200046605

31. Oberlis D, Kharland B, Skal′nyy A. Biology of macro- and microelements in humans and animals. St. Petersburg: Nauka; 2008. 542 p. (In Russ.). [Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука, 2008. 542 с.].

32. Timofeeva SN, Kadikov IR, Khaybullin RR. The effect of zinc on weight gain, biochemical parameters and the content of metals in organs of rats exposed to cadmium chloride. Vestnik of Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics. 2020;6(1):59–66. (In Russ.). https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-1-59-65

33. Potapova SN. The effect of magnesium and zinc on rats treated with cadmium. Veterinarian. 2021;(1):44–49. (In Russ.). https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-1-44–50

34. Ma W. Effect of soil pollution with metallic lead pellets on lead bioaccumulation and organ/body weight alterations in small mammals. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 1989;18:617–622. https://doi.org/10.1007/BF01055030

35. Sergeev AA, Shiryaev VV, Dvornikov MG, Tetera VA. Lead poisoning of wild animals and prospects for the use of non-toxic hunting ammunition in Russia. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2020;53(1):71–83. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/1999-6837-2020-11010

36. Kottferová J, Korénedová B. Distribution of Cd and Pb in the tissues and organs of free-living animals in the territory of Slovakia. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 1998;60:171–176. https://doi.org/10.1007/s001289900607

37. Ehykhler V. Poisons in our diet. Moscow: Mir; 1985. 214 p. (In Russ.). [Эйхлер В. Яды в нашей пище. М.: Мир. 1985, 214 с.].

38. Alonso ML, Benedito JL, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Shore RF. Arsenic, cadmium, lead, copper and zinc in cattle from Galicia. NW Spain. Science of the Total Environment. 2000;10:246(2–3):237–248. https://doi.org/10.1016/s0048-9697(99)00461-1

39. Miranda M, Alonso ML, Castillo C, Hernández J, Benedito JL. Effect of sex on arsenic, cadmium, lead, copper and zinc accumulation in calves. Veterinary and Human Toxicology. 2000;42(5):265–268.

40. Shore RF, Douben PET. The ecotoxicological significance of cadmium intake and residues in terrestrial small mammals. Ecotoxicology and Environmental Safety. 1994;29(1):101–112. https://doi.org/10.1016/0147-6513(94)90035-3

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2429
https://elibrary.ru/TPDFMU

Обзорная статья
https://fptt.ru

Методические подходы к определению географического происхождения вин. Обзор

Н. В. Гниломедова[1,*], Н. С. Аникина[1], А. Ю. Колеснов[2]

[1] *Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, Ялта, Россия*

[2] *Российский университет дружбы народов, Москва, Россия*

Поступила в редакцию: 24.10.2022
Принята после рецензирования: 25.11.2022
Принята к публикации: 06.12.2022

**Н. В. Гниломедова: 231462@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1784-2370*
Н. С. Аникина: https://orcid.org/0000-0001-5682-3426
А. Ю. Колеснов: https://orcid.org/0000-0003-2834-6225

© Н. В. Гниломедова, Н. С. Аникина, А. Ю. Колеснов, 2023

Аннотация.
Вина географического статуса представляют повышенный интерес для потребителей и производителей винодельческой продукции. На данный момент географическое происхождение вин декларируется только заявленной на этикетке информацией, т. к. не существует официальной системы критериев, гарантирующих подлинность места производства продукта. Цель работы – анализ существующих методических подходов для подтверждения географического происхождения вин.

Объектом исследования являлась отечественная и зарубежная научная литература, проиндексированная в наукометрических базах данных Dimensions и Elibrary с 2017 по 2022 гг. Поиск проводился по запросам: подлинность вин, географическое происхождение вин и хемометрия.

Анализ литературных данных показал отсутствие единого методического решения проблемы определения географического происхождения вин. Разнообразие подходов обусловлено широким перечнем показателей и методов их определения, спектром аналитического оборудования и вариабильностью моделей обработки информации. Высокая достоверность подтверждения происхождения вин обеспечена хемометрическими методами обработки больших массивов результатов аналитических исследований, структурированных в банке данных (принцип «отпечатков пальцев»). Обоснованные маркеры индивидуальны для географического региона (страны, зоны, терруара), их количество в различных исследованиях варьируется от 2 до 65.

Выбран комплексный подход, базирующийся на сочетании изотопного состава легких и тяжелых элементов с катионно-анионным профилем, аналитическое обеспечение которого представлено методами атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопии, спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, масс-спектрометрии изотопных отношений, а также количественной и качественной спектроскопии ядерного магнитного резонанса. В рамках реализации предложенного подхода предполагается разработать индивидуальные «энохимические портреты» вин конкретного региона и выбрать наиболее эффективные хемометрические модели определения их географического происхождения.

Ключевые слова. Вино, энология, аутентичность, хемометрия, стабильные изотопы, спектроскопия, масс-спектрометрия, ядерный магнитный резонанс, терруар

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) № FNZM-2022-0005. Публикация выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Российского университета дружбы народов (РУДН).

Для цитирования: 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. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2429

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2429
https://elibrary.ru/TPDFMU

Review article
Available online at https://fptt.ru/en

A Review of Methodological Approaches to Authenticating the Geographical Origin of Wines

Nonna V. Gnilomedova[1,*], Nadezhda S. Anikina[1], Alexander Yu. Kolesnov[2]

[1] *All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" of the RAS, Yalta, Russia*

[2] *Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia*

Received: 24.10.2022
Revised: 25.11.2022
Accepted: 06.12.2022

**Nonna V. Gnilomedova: 231462@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1784-2370*
Nadezhda S. Anikina: https://orcid.org/0000-0001-5682-3426
Alexander Yu. Kolesnov: https://orcid.org/0000-0003-2834-6225

© N.V. Gnilomedova, N.S. Anikina, A.Yu. Kolesnov, 2023

Abstract.
Wines with a clear geographical origin are more attractive for customers. The geographical origin of wine is stated on its label, but no official standards guarantee its reliability. The present research objective was to analyze the existing methodological approaches to wine authentication.
The study featured domestic and foreign publications indexed in Dimensions and Elibrary in 2017–2022 with such keywords as *wine authentication*, *geographical origin of wine*, and *chemometrics*.
The research revealed no single methodological solution to wine authentication because food science knows a wide range of parameters, methods, analytical equipment, and data processing models. Chemometric methods are reliable because they are able to process large arrays of analytical research results structured in a data bank using the so-called fingerprint principle. They involve 2–65 markers that are individual for each geographical region, country, zone, or terroir. Another promising method is the quantitative and qualitative nuclear magnetic resonance spectroscopy (qNMR) of protons 1H and deuterium ^{2}H(D) nuclei, as well as other elements (^{13}C, ^{17}O, ^{31}P, ^{14}N). The review resulted in an integrated approach based on a combination of isotopic testing with cation-anionic profiling. The analytical support involved the methods of atomic absorption and atomic emission spectroscopy, spectrometry with inductively coupled plasma, isotope ratio mass-spectrometry, and quantitative and qualitative nuclear magnetic resonance spectroscopy. This combined approach could provide background for an all-Russian state standard with a single algorithm for wine authentication tests.
The new approach will be used to develop enochemical profiles of wines from a particular region, as well as to choose the most effective chemometric models for geographical authentication.

Keywords. Wine, oenology, authenticity, chemometry, stable isotopes, spectroscopy, mass spectrometry, nuclear magnetic resonance, terroir

Funding. The research was part of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauki) No. FNZM-2022-0005 and supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Peoples' Friendship University of Russia (PFUR).

For citation: 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

Введение

Одним из наиболее важных направлений мировой энологии является выпуск вин географического статуса. Вина, к качеству которых предъявляются более высокие требования, чем для вин страны, являются уникальными «продуктами местности» и представляют повышенный интерес для потребителей и производителей вина.

В нормативно-законодательной базе РФ существует термин, соответствующий международному подходу к определению понятия «географических» вин. В Федеральном законе «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации» от 27.12.2019 № 468-ФЗ (в ред. ФЗ от 02.07.2021 № 345-ФЗ) указано: «российская винодельческая продукция защищенных наименований – российская винодельческая

продукция с защищенным географическим указанием и (или) с защищенным наименованием места происхождения в рамках российской национальной системы защиты винодельческой продукции по географическому указанию и месту происхождения». Изготовление такой продукции должно осуществляться в границах определенной виноградо-винодельческой зоны и/или района для вин с защищенным географическим указанием и в границах определенного терруара для вин с защищенным наименованием места происхождения. Однако в России официальное подтверждение терруарности вин проводится только на основании технической документации без учета специфики энохимических показателей и/или органолептической характеристики, что не гарантирует достоверность заявленной на этикетке информации. Это обуславливает необходимость строгого технохимического контроля на основе критериев подлинности вин и характеристик их географического происхождения (страна, зона, район, терруар возделывания винограда). Под критериями следует понимать отдельные показатели или их систему, методы определения и установленные и верифицированные на научной основе диапазоны, характерные для аутентичной продукции. Самым сложным этапом научных изысканий является первый – научный поиск, изучение и обоснование наиболее значимых маркеров компонентного состава винограда и винодельческой продукции, а также характеристик географических объектов выращивания и переработки винограда, самым трудоемким – формирование банка знаний, от которого будет зависеть достоверность выводов.

Целью данной работы являлся анализ существующих методических подходов для подтверждения географического происхождения вин.

Объекты и методы исследования

Анализ и систематизация результатов исследований, изложенных в научных публикациях ведущих специализированных журналов по энологии, аналитической и пищевой химии, опубликованных в период 2017–2022 гг. (наукометрические базы данных Dimensions и Elibrary). Поиск проводился по ключевым словам: подлинность вин, географическое происхождение вин и хемометрия.

Результаты и их обсуждение

В современных зарубежных и отечественных научных источниках пристальное внимание уделяется вопросу идентификации «вин местности» (страны, региона, терруара). Об этом свидетельствуют исследования, направленные на подтверждение географического статуса вин. Причем с каждым годом интерес к разработке методических подходов в этом направлении растет. Например, на базе аналитической платформы «Dimensions» (https://app.dimensions.ai), аккумулирующей результаты исследований в различных областях, в период с 2017 по 2021 гг. количество статей, соответствующих запросу «Wine authenticity, Geographical origin of wine» (подлинность вина, географическое происхождение вина) в категориях химических, пищевых и сельскохозяйственных наук, возросло почти в 2 раза: с 270 до 490. Работы по поиску географических маркеров проводятся практически во всех странах, где производится вино, включая такие нетривиальные для широкого круга потребителей, как Япония и Словакия [1–3]. Отечественными учеными также активно осуществляется установление связи физико-химических показателей винограда и вин с их географической принадлежностью. Результаты исследований опубликованы в работах Н. М. Агеевой, Н. С. Аникиной, М. В. Антоненко, Т. И. Гугучкиной, В. А. Ивлева, Г. А. Калабина, А. Ю. Колеснова, М. Г. Марковского, Л. А. Оганесянца, Е. В. Остроуховой, З. А. Темердашева, В. О. Титаренко, О. Н. Шелудько и др. [4–23].

При идентификации любых продуктов, в том числе вин, и оценки их географического происхождения наиболее часто используется методический подход «отпечатков пальцев» (син.: fingerprint method, fingerprinting). Это позволяет проводить процедуру аутентификации путем сопоставления результатов анализа неизвестных образцов с установленными фактическими данными, полученными при анализе известной выборки [24–27]. Другим подходом, расширяющим возможности идентификации на основе принципа «отпечатков пальцев», является использование сведений о характеристиках географических объектов произрастания винограда и особенностях технологий его переработки, которые могут оказывать прямое или косвенное влияние на компонентный состав продукции. Успех совместной реализации двух указанных подходов основан на научном изучении, обработке и накоплении информации в виде банков знаний (аналитических результатов) с последующим их обобщением и разработкой энохимического образа подлинного вина (образец сравнения) и «аналитического портрета» географических объектов происхождения продуктов виноделия. Пополнение таких банков (баз) знаний должно происходить постоянно с привлечением максимально подробной информации: год урожая, сорт, регион/зона/район возделывания винограда, технология производства вина, условия его хранения, производитель и др. В качестве одного из примеров отечественных методических разработок на основе создания «отпечатков пальцев» эталонных продуктов без учета характеристик географических объектов произрастания и переработки винограда для аутентификации вин по региональной принадлежности можно привести опубликованные данные по физико-химическим показателям вин (массовая концентрация

катионов и анионов, органических кислот и фенольных веществ, а также хроматические характеристики и расчетные показатели) с защищенным географическим указанием и наименованием места происхождения, произведенных на территории Краснодарского края [5, 22].

Идентификация вин, в том числе по географическому признаку, предполагает получение большого массива аналитических данных. Поэтому процедура невозможна без применения хемометрических подходов, позволяющих оптимизировать исследовательский процесс. Под хемометрией следует понинимать междисциплинарную науку, задачей которой является получение информации на основе математических и статистических методов получения и обработки химических данных. К таким методам относятся дискриминантный анализ, метод наименьших квадратов, выбор признаков, методы опорных векторов, искусственные нейронные сети, анализ главных компонент, слияние данных, распознавание образов и другие [1, 12, 23, 26, 28–33].

Проблема идентификации винодельческой продукции по географическому признаку усложняется большим многообразием природных (сортовых, геоклиматических) и антропогенных (агротехнических и технологических) факторов, влияющих и формирующих «химический портрет» [8–10, 13–16, 21, 25, 34–36]. Мониторинг отечественных и международных литературных источников показал, что в основу идентификации животной и растительной продукции, в том числе винодельческой, по географическому происхождению заложены принципы элементной метаболомики – науки, всесторонне изучающей количественное содержание низкомолекулярных метаболитов организма, в данном случае микро- и макроэлементов. Данный подход обусловлен сильной связью компонентного состава в цепочке «поле – готовая продукция», что позволяет подтверждать ее уникальность. Установлено, что климатические факторы (температура, влажность, вид и количество осадков) и геохимические маркеры (характерные соединения состава, химические элементы и их стабильные изотопы) демонстрируют преемственность исследуемого образца и климата, а также почвы конкретного региона возделывания винограда. Усвоение растениями макро- и микроэлементов не происходит пропорционально их содержанию в почве. Данный процесс описывается т. н. коэффициентом биологического поглощения, характеризующим биогенные миграционные процессы и представляющим собой отношение содержания элемента в золе растения (минеральная составляющая данного растения) к содержанию в почве в месте его произрастания [3, 37, 38].

Преимуществом определения географического происхождения продукции с учетом геохимии является высокая защищенность получаемых результатов от фальсификации, т. к. данные маркеры практически невозможно смоделировать различными химическими добавками. Специфика химического состава почв сохраняется на относительно небольших площадях, что позволяет точно устанавливать территорию получения первичного сырья, в том числе винограда, и вина.

Для характеристики региона возделывания винограда и выработанных в данной местности вин, помимо элементного состава, применяют специфичные показатели, такие как содержание органических веществ, концентрация компонентов катионно-анионного состава и их уникальные соотношения. Также предложено использовать интегральные показатели – специфику форм кривых титрования и спектров поглощения [4, 13, 14, 20, 21, 31].

По данным Е. В. Остроуховой, совокупность таких критериев, как массовая концентрация фенольных веществ, полимерных флаваноидов и аминного азота, оптическая плотность при длине волны 420 нм и дегустационная оценка, позволяет дифференцировать исследуемые вина по природно-климатическим зонам, что было показано на примере десертных белых и красных вин [14].

Для идентификации вин по принципу «отпечатков пальцев» одной из групп возможных соединений являются органические кислоты виноградного (винная, яблочная и лимонная кислоты) и ферментационного происхождения (молочная, уксусная и янтарная кислоты). Была показана возможность использования хроматографических профилей органических кислот в качестве характеристических показателей для хемометрической классификации красных вин (Каберне-Совиньон, Гренаш, Мерло, Шираз, Гамэ, Зинфандель и Пино нуар) из различных регионов, а также для географической идентификации вин [28]. Исследуемые компоненты вин определялись методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Обработку результатов измерений проводили с помощью многомерных статистических методов (около 30 различных методов). Например, методом анализа основных компонентов (группировка вина в соответствии с сортом – Каберне-Совиньон, Мерло и Пино нуар) и линейного дискриминантного анализа (группировка по географическому происхождению). По мнению X.-Y. Huang и др., метод обладает достаточно высокой надежностью – 86,7–100 % [28]. Например, в одной экспериментальной работе для установления принадлежности вин к продукции с защищенными географическими указаниями предложено анализировать кривые титрования и оптические спектры с дальнейшим построением графических образов [20]. На примере автохтонного сорта Красностоп Золотовский (Ростовская область) показана зависимость изучаемых параметров от кислотного, катионного и фенольного комплексов

вин, что определяется почвенно-климатическими выращиваниями винограда и технологическими факторами производства вина.

Спектры ультрафиолетового (УФ) и видимого излучения с дальнейшей статистической обработкой данных также применяются для подтверждения аутентичности продукции. Данный метод был использован для дифференцирования токайских вин по стране происхождения – Украина, Венгрия и Словакия [2]. Показана возможность классификации аутентичных токайских вин, выработанных в Словакии, по географическому происхождению со 100 % достоверностью при применении для обработки результатов аналитических измерений способа мягкого независимого моделирования аналогий классов. Такая же высокая точность была продемонстрирована при дискриминации коммерческих вин Каберне-Совиньон из трех винодельческих регионов Австралии и провинции Бордо, Франция [39]. По сравнению с другими спектроскопическими методами спектроскопия в УФ- и видимом диапазоне дает ограниченное количество спектральных характеристик. Поэтому данный подход целесообразно использовать в сочетании с другими спектроскопическими методами для повышения точности и достоверности моделей классификации, используемых для аутентификации, за счет объединения наборов получаемых данных [31].

Определенными перспективами обладает инфракрасная (ИК) спектроскопия среднего и ближнего диапазона в сочетании с хемометрией. Проведенный сравнительный анализ различных математических моделей показал, что наибольшей точностью прослеживаемости географического происхождения обладал метод мягкого независимого моделирования аналогий классов (по сравнению с методами наименьших квадратов и дискриминантным анализом). При классификации 540 образцов вин Каберне-Совиньон, произведенных в Австралии, Чили и Китае, достоверность определения составила от 92 до 97 % в зависимости от страны происхождения [26].

Наиболее прогрессивными и высокоселективными методами для фундаментального решения проблемы подтверждения географического происхождения аграрной продукции, в том числе вин, являются количественная и качественная спектроскопия ядерного магнитного резонанса NMR (ЯМР) протонов ^{1}H, ядер дейтерия $^{2}H(D)$ и других элементов (^{13}C, ^{17}O, ^{31}P, ^{14}N и др.), а также масс-спектрометрия отношений стабильных изотопов легких элементов IRMS/SIRA ($^{13}C/^{12}C$, $^{18}O/^{16}O$, $^{2}H/^{1}H$, $^{15}N/^{14}N$ и др., ИО-МС) [1, 4, 7–9, 40–43]. Актуальность и высокое значение исследовательских методологий, основанных на методах NMR и IRMS/SIRA, подтверждаются не только многочисленными научными работами, но и заинтересованностью государственных и международных организаций. ЯМР как быстрый, хорошо воспроизводимый и высоко информационный спектрометрический метод для проведения исследований подтверждается готовностью страны оказывать соответствующую государственную финансовую поддержку в сфере контроля качества продукции виноградарства и виноделия, что отражено в «Законе о виноградарстве и виноделии в Российской федерации» (ФЗ 468, статья 34. Государственная и муниципальная финансовая поддержка субъектов виноградарства и виноделия, общественных организаций, осуществляющих контроль в данной сфере деятельности). Этот подход позволяет охарактеризовать основные компоненты как в растительных объектах (винограде), так и в продуктах их переработки (вино) и по результатам анализа метаболитов отследить их географическую или сортовую принадлежность.

Масс-спектрометрия изотопных отношений задекларирована, как и методология ЯМР, Международной межправительственной организацией виноградарства и виноделия OIV, что подтверждает важность данного метода для установления региона происхождения вина [44]. Применение методов ИО-МС и ЯМР имеет большое арбитражное значение для соблюдения государственного законодательства в рамках контроля вин защищенным географическим указанием и наименованием места происхождения. Изотопный состав свидетельствует о разбавлении вин и сусел водой или запрещенном внесении сахара. Это было установлено по отклонениям показателей D/H, $^{18}O/^{16}O$ и $^{13}C/^{12}C$ в винах, продаваемых в Китае, но заявленных как европейские [45].

Измерение изотопного состава стронция $^{87}Sr/^{86}Sr$ в образцах белых вин, винограда и лабильных почвенных фракций виноградника позволяет сопоставить всю цепочку производства вина со своеобразной геохимической изотопной подписью любой географической области [27]. Виноград и конечное вино сохраняют изотопную сигнатуру, аналогичную биодоступной фракции почвы и геологическому субстрату виноградника. Это было установлено на примере вин, произведенных из винограда, выращенного на вулканических образованиях района Вулсини (юг Тосканы, Италия). Аналогичные выводы для географический прослеживаемости энологических продуктов получены путем анализа почв, лозы и вин из винограда сорта Ламбруско (Модена, Италия) по соотношению стабильных изотопов $^{87}Sr/^{86}Sr$ [46]. Бентонит и дрожжи, которые являются технологическими средствами геологического и биологического происхождения соответственно, существенно не влияют на изотопный состав стронция как географического индикатора. Купажирование вин разных терруаров обнаруживает промежуточное соотношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ [27].

Исследование вин, произведенных на Канарских островах (Испания), показало, что молодая вулкани-

ческая геология придает четко идентифицируемый низкий количественный уровень показателя $^{87}Sr/^{86}Sr$ (< 0,7072) [47]. Эти значения отличают вина региона Тенерифе от продуктов материковой Испании и континентальной Европы. В отличие от континентальных винодельческих регионов вина с Тенерифе демонстрируют небольшое, но повсеместное, обогащение стабильными изотопами $^{87}Sr/^{86}Sr$ выше ожидаемого в почве. Установлено, что обработка вин бентонитом не повлияла на сигнатуры $^{87}Sr/^{86}Sr$. Уникальность предложенных сигнатур обусловлена природными особенностями терруара. В северных регионах основное влияние на отношение изотопов стронция Sr оказывают дожди, а в южных – испарение. Наблюдается некоторое поступление минеральной пыли из Африки.

Перспективность контроля подлинности вин с помощью изотопного и элементного состава стронция показана для 43 аутентичных вин Бордо из самых престижных винодельческих предприятий [48]. Исследование отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ и концентрации Sr в винах можно применять для идентификации продукции региональных виноделен. Результаты демонстрируют относительно узкие диапазоны вариативности, наблюдаемые для соотношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ и концентрации Sr в аутентичных винах Бордо. Изотопные составы и концентрации стронция в винах, выданных за бордосские, превышали значения уникальной бинарной сигнатуры подлинных вин за счет влияния антропогенно-индуцированных факторов, к которым могут быть отнесены уровень загрязнения территории автомобильными выхлопными газами, эмиссия элементов со стороны промышленных предприятий, агротехнические способы выращивания винограда, технические и технологические особенности переработки винограда и др.

Для оценки географического происхождения вин исследователями предложены различные изотопные сигнатуры. Была показана перспективность использования изотопных отношений стронция Sr и свинца Pb при исследовании вин, почв и коренных пород [40]. В работе показано, что изотопные данные связаны с поглощением Sr и Pb корнями винограда, гранулометрическим составом почвы и содержанием глины, а не с изотопным составом всей породы. В качестве уникальных «отпечатков пальцев» географического происхождения вина могут выступать стабильные изотопы свинца ($^{206}Pb/^{207}Pb$, $^{208}Pb/^{206}Pb$, $^{206}Pb/^{204}Pb$, $^{207}Pb/^{204}Pb$ и $^{208}Pb/^{204}Pb$), что было показано для сербских вин из четырех географических регионов [50]. Анализ соотношения указанных изотопов проведен в сочетании с многомерными методами математической статистики (например, метод анализа основных компонентов).

Несмотря на активное привлечение метода масс-спектрометрии отношений стабильных изотопов легких элементов в идентификации вин, в ряде случаев он не обладает высокой информативностью. Показатели $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ и $\delta D(^2H)$ этанола и показатель $\delta^{18}O$ воды в винах, выработанных из винограда, произрастающего в различных географических зонах России (Краснодарский край, Республика Крым, Республика Дагестан), имеют близкие значения, что не позволяет достоверно подтвердить происхождения вин [12]. Следует отметить, что в зарубежных исследованиях для контроля качества винодельческой продукции анализ показателей $\delta^{18}O$ и $\delta D(^2H)$ в этаноле не применяется из-за методических проблем масс-спектрометрии IRMS/SIRA и отсутствия особенностей распределения изотопов кислорода и водорода в компонентах винограда из различных географических регионов. Вопрос исследования изотопии водорода в этаноле винодельческой продукции эффективно решается применением высокоселективного метода спектроскопии ядерного магнитного резонанса (NMR).

Было проведено изучение вин из четырех основных производственных зон Китая методами спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим детектированием (ICP-MS) и масс-спектрометрии (IRMS/SIRA) по содержанию 38 минеральных элементов и изотопов кислорода в воде. Результат $\delta^{18}O$ колебался от –13 до 7 ‰, причем этот показатель в Северо-Западном Китае был выше, чем в Южном Китае. Линейный дискриминантный анализ показал точность классификации 88,5 % в обучающей выборке и 81,7 % в результате перекрестной проверки. Модель искусственной нейронной сети определила происхождение вина с большей точностью, чем модель линейного дискриминантного анализа. Кроме того, $\delta^{18}O$ и отношение элементов стронция и рубидия (Sr/Rb) являются важными составляющими распознавания в искусственной нейронной сети, а точность распознавания регионов может достигать 90,9 % [51]. Аналогичный подход был использован японскими исследователями путем изучения стабильных изотопов кислорода и многоэлементного анализа. В результате исследований показано, что 18 переменных из 19 позволили провести географическую дискриминацию аутентичных и импортных вин Шардоне.

Модели машинного обучения на основе метода искусственной нейронной сети были применены для проверки географического происхождения 240 французских вин из 4 регионов Франции (Бордо, Бургундия, Лангедок-Руссильон и Рона) [52]. В качестве реперных катионов были выбраны Mg, Mn, Na, Sr, Ti и Rb. Этим же методом исследованы вина из 7 стран в сравнении с винами, выработанными в Китае. Многомерный анализ изотопных и элементных данных показал, что можно определить географическое происхождение большинства импортных вин с высокой степенью достоверности (> 90 %). Метод искусственной нейронной сети имеет более

высокую точность распознавания, чем методы дискриминационного анализа и случайного леса, если речь идет о классификации происхождения вина в глобальном масштабе.

Для распознавания вин, произведенных в разных винодельческих районах Хорватии, был применен комбинированный подход, включавший спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой с оптико-эмиссионным детектированием в сочетании с масс-спектрометрией IRMS/SIRA и методами многомерной статистики [53]. Проведенный анализ вин, выработанных в континентальных и прибрежных районах, по показателям $\delta^{18}O$ в воде, $\delta^{13}C$ в этаноле и 22 микроэлементам позволил установить, что при исследовании географического происхождения при соблюдении определенных условий могут быть использованы результаты измерений $\delta^{18}O$ и Co, за которыми в порядке убывания следуют K, Rb, Sn, Li и $\delta^{13}C$. Идентификация коммерческих вин менее точна (66 %), по сравнению с винами, выработанными в условиях микровиноделия (98 %).

Изучение вин, выработанных в ограниченной области северной Италии, показало возможность использования химических (концентрация B, Pb и Sr) и изотопных составов ($\delta^{11}B$, $^{20y}Pb/^{20x}Pb$, $^{87}Sr/^{86}Sr$ и $\delta^{18}O$) для прослеживания их географического происхождения [54]. Анализ проводился с использованием спектрометра с индуктивно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим детектированием. Удовлетворительная степень точности показана для изотопов бора. Полученные результаты подчеркнули важность синергетического сочетания всех параметров для оценки различных образцов, а также необходимость объединения полученных значений с теми же параметрами, оцениваемыми в почве, воде и удобрениях.

Самое пристальное внимание исследователи уделяют микроэлементному составу вина как отражению географической зоны произрастания винограда. Агротехнические приемы оказывают влияние на элементный состав листьев, лозы, ягод и почвы, что было показано на примере изучения методом рентгеноскопии элементного профиля вин из винограда сорта Марселан [55]. Пробы были взяты на всех основных этапах винного цикла, включая почву, виноградные растения, виноград, и обработки вина. Концентрация таких элементов, как Al, Si, K и Ni, оставалась постоянной в винограде, собранном на разных стадиях созревания. Изменения содержания Si, Cl, Ca, Cu и K наблюдались между стадиями брожения мезги и в молодом вине; отмеченное снижение концентрации меди на последних стадиях винного цикла связано с ее осаждением в процессе хранения вина.

Изучение концентрации минералов в винограде в пределах одного виноградника показало, что на это влияет сорт винограда и урожайность [56]. Исследования были проведены по 18 элементам на 9–10 сортах винограда в одних и тех же условиях (почва, погодные условия, способы обрезки, удобрения) в течение трех лет. Установлено, что в японских сортах содержание Ca, Sr, Ga и Ba было выше, чем в европейских; концентрации Mg, P, S и Mn в винограде зависели от нагрузки на куст. Сравнение результатов с ранее полученными показывает, что вариативность содержания микроэлементов более выражена между различными виноградниками, что свидетельствует о большем влиянии агроклиматических особенностей, чем сортовых.

Применение таких агротехнических приемов, как задернение почвы, нагрузка на куст и обработка антитранспирантом, приводит к изменению содержания катионов металлов Al, Cr, Co, Cu, Mn, Rb, Zn, Sr, Mo и Ti, установленному методом атомно-абсорбционной спектроскопии [29].

При проведении процедуры идентификации вин по географическому происхождению необходимо учитывать не только влияние таких факторов, как климатические особенности года и местности, на которой расположены посадки винограда, и технологических операций производства вин, но и различных разрешенных и запрещенных добавок, которые могут вноситься в вино, а также контактных материалов, технических загрязнений и др. А. Г. Абакумовым с соавторами установлено, что обработка вин бентонитом приводит к увеличению содержания Ag, Al, Cd, Ni, Na, Sb, Sn, Pb, Ti, Fe и снижению B, Cu, Zn; такие катионы, как As и Hg, независимо от обработки, не были обнаружены. Содержание натрия может возрастать в 1,5–2 раза в зависимости от химического состава вина и свойств бентонита [35].

Определение Ba, Ca, Mg, Mn и Sr в винах продемонстрировало, что элементный состав не зависит от старения продукта, окисления спирта и формирования осадков [57]. Но такие факторы, как содержание извести в почве виноградника и способ переработки винограда, оказывают влияние на катионный профиль (28,5 % дисперсии показателей), особенно на содержание Mg и Ca в белых и красных винах. Климатические условия возделывания винограда, в случае водного стресса, также приводят к варьированию состава изученных катионов (24,1 % дисперсии показателей).

В исследовании японских ученых было показано влияние различных винодельческих приемов (оклейка, контакт с древесиной дуба, мацерация мезги, шапталицация и подкисление, добавление питательных веществ для дрожжей) на концентрацию 18 минералов (Li, B, Na, Mg, Si, P, S, K, Ca, Mn, Co, Ni, Ga, Rb, Sr, Mo, Ba и Pb) в винограде из разных зон производства. Наибольшее влияние на содержание минералов оказала мацерация в контакте с мезгой, которая изменила концентрацию 17 элементов (B, Na,

Mg, Si, P, S, K, Ca, Mn, Co, Ni, Ga, Rb, Sr, Mo, Ba и Pb). Осветление с использованием бентонитов имело второй по величине эффект, изменяя концентрации 14 элементов (Li, B, Na, Si, P, S, Ca, Co, Ga, Rb, Sr, Mo, Ba и Pb). Однако при анализе данных, полученных при анализе 154 образцов вина, они были четко сгруппированы по изучаемым сортам винограда, а не по специфике технологии виноделия. Несмотря на то что некоторые технологические операции изменили концентрацию ряда минералов в вине, основным фактором, влияющим на минеральный состав вина, является географическое происхождение [1].

На примере испанских вин выделены дискриминанты, позволяющие проводить дифференциацию вин по виноградарским и энологическим факторам [58]. Результаты исследований микроэлементного состава, полученные методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, применимы для классификации вин по следующим признакам: географические зоны – Sr, Ba, Ni и Cu, типы почвы – Cs и Pb, внекорневое внесение азота – Pb, Ni, Mn и Zn, сульфитация – Cs, Mg, Cu и Pb, выдержка в дубе – Na и Cs. По данным авторов, предложенные критерии классифицируют вина с уверенностью 100 %, за исключением сорта винограда (97,0 %) и выдержки в дубе (95,8 %).

При переходе из ягоды в вино концентрация неорганических компонентов может изменяться: содержание элементов Mg, Al, K, Ca, Mn, Ni, Cu, Zn, Rb, Ba, Ti и Sr снижается, а V, Fe, Co, Pb и Na повышается [17]. Усвоение почвенных катионов виноградом различных сортов происходит неравномерно. Например, для ягод сорта Мерло поглощение выше для Rb, Ti, Mg, Zn, Cu, Na, Fe, Al и Sr, Муската – K, Pb и Ni, Каберне – V и Mn. Такая особенность формирует индивидуальный элементный образ вина за счет различного поступления указанных катионов в ягоды.

Определение региона возделывания (в пределах Краснодарского края) и сорта винограда возможно по профилю микроэлементов, что зависит от химического состава почвы [15, 16]. Методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с оптико-эмиссионным детектированием был проведен анализ вин по содержанию 19 элементов (Li, Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Cr, Ma, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Cd, Ba и Pb). На примере 5 сортов винограда (Мускат, Рислинг, Шардоне, Каберне-Совиньон и Мерло) показано, что в вине сохраняется специфическое содержание микроэлементов, характерное для сорта винограда и региона его выращивания. Разработанные алгоритмы позволяют соотнести исследуемые моносортовые вина с зоной возделывания винограда.

Взаимосвязь географического положения участков выращивания винограда с массовой концентрацией катионов была показана на примере сортов Каберне-Совиньон, Пино нуар, Шардоне, Совиньон блан и Рислинг [11]. Исследования проводили методами атомно-абсорбционной спектроскопии, спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим детектированием и атомно-эмиссионной спектроскопией с индуктивно связанной плазмой. Из 19 проанализированных элементов были отобраны Rb, Al и Na как наиболее информативные.

Подтверждение географического происхождения вин возможно только при комплексном изучении влияния условий выращивания винограда и винодельческих приемов, принятых на винодельне [59]. С помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой было изучено содержание 63 элементов и продемонстрировано, что эти факторы влияют на характерный элементный «рисунок» вина. Однако в пределах конкретных предприятия и виноградника может наблюдаться различная степень влияния.

Для подтверждения региональной принадлежности австрийских и хорватских вин было проведено определение K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Br, Rb, и Sr методами рентгеновской флуоресценции с полным отражением и энергодисперсионной рентгеновской флуоресценции с индуктивно связанной плазмой с масс-спектрометрическим детектированием [60]. В винах Хорватии также определяли металлы K, Ca, Fe, Cu, Zn, Mn, Sr, Rb, Ba, Pb, Ni, Cr и V. Авторы выделили Fe, Zn, Br, Rb и Sr как наиболее информативные элементы-дискриминаторы для географической дифференциации вин [32]. Обработка данных методом основных компонентов в сочетании с кластерным анализом показала, что K, Mn, Ba и Ni можно рассматривать как наиболее важные характеристики, позволяющие различать континентальные красные и белые вина, Rb, Ni и Ba – континентальные красные и адриатические красные вина, Sr является единственным металлом, полностью отличающим образцы каждой категории.

Как показывают исследования, подход «отпечатков пальцев» позволяет различать вина не только из разных стран или регионов внутри страны, но и в пределах регионов. Была показана возможность отличия коммерческих вин Пино нуар из пяти американских регионов одной винодельческой области США по профилям 62 элементов на основе применения микроволновой плазменно-атомно-эмиссионной спектроскопии и спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим детектированием [61].

Определение аутентичности географического происхождения винограда и вин актуально для такой активно развивающийся в винодельческом плане страны, как Китай. В почвах, винограде и вине из шести регионов Китая была определена концентрация 15 макро- и микроэлементов (Na, Mg, K, Ca, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Rb, Sr, Li, Cd, Cs и Ba) методом спектрометрии с индуктивно-связанной

плазмой с масс-спектрометрическим детектированием [62]. Обработка данных проводилась методом однофакторного дисперсионного анализа по критерию Дункана. Установлено, что Mg, K, Ca, Cu, Zn, Rb, Sr и Ba имеют более высокие значения коэффициента биоконцентрации, чем остальные семь элементов. Коэффициент переноса из винограда в вино Na, Mg, K, Zn, Li, и Cs оказался больше единицы. Кроме того, были проанализированы корреляции между содержанием элементов в парах почва – виноград и виноград – вино и коэффициентом биологической концентрации. Соответствия между почвой, виноградом и вином наблюдались для K и Li. Два элемента (Sr и Li) показали корреляцию между коэффициентом биоконцентрации и факторами окружающей среды (относительная влажность, температура и широта). Для определения географического происхождения высокую точность (> 90 %) показал линейный дискриминантный анализ с тремя переменными (K, Sr, Li). Для подтверждения территориальной принадлежности винограда Эколли и вин из разных регионов Китая был определен расширенный перечень из 46 элементов, результаты которого проанализированы методами многомерной статистики в сочетании с моделями машинного обучения [30]. Как наиболее важные критерии выделены K, Na, Cs, V, Li, Sc, In, Mn, Mg, Al и Li, Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Ni, Cu и Zn.

Исследование панели из 53 макро- и микроэлементов вин, выработанных в 6 географических зонах Португалии, методами атомно-абсорбционной спектроскопии и спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим детектированием показало, что дискриминантную возможность по зонам выращивания винограда проявляют такие элементы, как Ca, Li, Mn, Co, Zn, Br, Sr, Cd, Ba, W и Tl [63].

Сравнение мировых игристых вин по содержанию 12 элементов (Al, B, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na и Sr), определенных с использованием спектрометра с индуктивно связанной плазмой с оптико-эмиссионным детектированием, позволило установить, что по концентрации B, K и Na с высокой точностью (94 %) можно классифицировать образцы из Бразилии, Аргентины, Испании и Франции [64]. Южноамериканские игристые вина отличаются от европейских содержанием Ca, K и Na. Дифференцировать бразильские и аргентинские образцы можно по одному элементу – Mn, а испанские и французские – по соотношению B/K. Для установления различий винодельческой продукции этих стран предложены такие катионы, как K, Li и Mn, позволяющие получить практически 100 % достоверность выводов [65].

На примере калифорнийских вин (США) показана воспроизводимость элементного профиля в винах Пино нуар, произведенных 2 года подряд на различных участках виноградников. Выделены элементы, коррелирующие с терруаром и обладающие изменчивостью содержания менее 25 %: Cs, K, Na, Rb, Ba, Ca, Mg, Sr, Eu, Al, B, Ga, As, P, Co, Fe, Mn, Ni и V [66]. Также на примере 14 вин продемонстрированно, что концентрации Mo, Er, Na, Li, Cs и Pb различались в 10 раз. Многофакторный анализ связи элементного состава сусла и терруара подтвердил ожидаемые результаты. Например, высокое содержание Ca с высоким содержанием глины [67].

Для географической классификации вин из четырех основных винодельческих регионов штата Вашингтон из 37 элементов и 2 изотопов воды, определенных с помощью тройной квадрупольной масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и резонаторной спектроскопии с кольцевым спадом, выделено 11 наиболее информативных параметров, обеспечивающих 96,2 % точности дискриминации: Mn, Zn, Pb, Ni, As, La, Ce, Si, Zr и Sr [68].

Многофакторный статистический анализ был применен для классификации вин и почв из четырех винодельческих регионов Южной Африки [69]. Образцы были проанализированы по содержанию 26 элементов: Li, B, Al, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, Ce, Nd, W, Tl, Pb и U. Установлена корреляция между элементным составом вина и почвы виноградника для Li, B, Sc, Mn, Co, Ni, Cu и Rb.

Анализ и обобщение отечественных и зарубежных научных источников, опубликованных за период 2017–2022 гг. и посвященных идентификации вин и их компонентов, позволили выделить основные направления аналитической химии, применяемые в хемометрии. В качестве параметрических данных различными учеными были обоснованы и исследованы следующие матрицы:

– оптические характеристики и кривые титрования [2, 20];
– профиль органических кислот [28];
– профиль фенольных веществ [14];
– профиль летучих веществ [70];
– состав макро- и микроэлементов [11, 16, 19, 23, 24, 30, 32, 55–69];
– изотопный состав легких и тяжелых элементов (H, C, O, Pb, B, Sr) [4, 7, 8, 10, 12, 40–54, 68].

В ряде работ отмечено, что сочетание различных аналитических подходов повышает достоверность выводов при географической идентификации вин, а также предложено определение их микроэлементного состава в комплексе с летучими соединениями вина и/или их изотопным составом (например, показатель D/H) [1, 33, 49, 68, 70].

Систематизация методологических решений, применяемых на сегодняшний день в направлении географической аутентификации вин, позволяет выделить ряд высокоточных методов для определения идентификационных маркеров:

– потенциометрия (мультисенсорные вольтамперометрические датчики на основе углеродных электродов трафаретной печати; потенциометрическая система типа «электронный язык») [71];
– оптическая спектроскопия (инфракрасная и ультрафиолетовая спектроскопия) [2, 26, 31, 39];
– атомная спектроскопия (атомно-абсорбционная и атомно-эмиссионная спектроскопия, в том числе спектрометрия с индуктивно связанной плазмой с масс-спектрометрическим детектированием (ИСП-МС) [1, 11, 15, 16, 24, 30, 35, 51, 53, 58, 61–64, 66, 69, 70];
– флуоресцентная спектрометрия [32, 60, 72];
– количественная и качественная спектроскопия ядерного магнитного резонанса [7, 8, 40–43];
– масс-спектрометрия отношений стабильных изотопов легких элементов IRMS/SIRA [4, 10, 12, 44, 45, 48, 50, 51, 54, 68].

Любой аналитический метод обладает своими специфическими особенностями. Рентгенофлуоресцентная спектрометрия полного отражения может иметь определенные проблемы при количественном анализе из-за возможных матричных эффектов, что связано с наличием в алкогольных напитках значительного количества сахаров, этанола и других органических соединений [72]. Для повышения достоверности результатов требуется определенная пробоподготовка продукта, особенно при определении таких элементов, как P, S, K и Ca.

Критический анализ предложенных маркеров и собственный научный и практический опыт позволили нам охарактеризовать преимущества и недостатки подходов к определению географического происхождения вин, а также сделать вывод об эффективности их использования (табл. 1).

Большинство исследователей обращает внимание на то, что для обоснования критериальных показателей и достоверной идентификации вин по географическому признаку требуется привлечение сложного математического аппарата, необходимого для обработки больших массивов данных [23, 24, 26, 28, 30, 33, 40, 50, 51, 53, 54, 67, 69, 71]. Например, модель на основе кластерных центров, построенная по результатам анализа микро- и макроэлементного состава (21 минеральный компонент) виноматериалов, выработанных в двух российских регионах (Краснодар и Ростов-на-Дону), позволила сформировать пространственный цифровой дискриминационный критерий, используя кластеризационные метрики [23].

Хемометрия в рамках идентификации вин по месту происхождения обладает гибкостью, что позволяет упрощать сложные модели, изначально содержащие значительное количество входных переменных, для экономии материальных и временных затрат. Информативность моделей может отличаться для различных групп объектов исследования. Рассмотрение различных типов прогнозирования (случайный лес, искусственные нейронные сети и метод опорных векторов), применяемых в классификации вин, в соответствии с содержанием в них металлов и металлоидов, показало, что наибольшая точность для белых вин была достигнута методом случайный лес, для красных вин – применением искусственных нейронных сетей [24].

С учетом большого количества различных методических подходов, реализация которых приводит к противоречивым выводам, в области государственного контроля (надзора) для решения задач определения географического происхождения винодельческой продукции необходимо разработать и утвердить нормативный документ. Например, национальный или межгосударственный стандарт ГОСТ Р/ГОСТ для оценки географического происхождения, устанавливающий единый алгоритм проведения исследований и интерпретации их результатов. Нормативный документ, основу которого будут определять методические и научные разработки отечественных и зарубежных исследователей, может быть разработан по аналогии с национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 59570-2021 по идентификации компонентов винодельческой продукции. В ГОСТ Р 59570-2021 для проведения анализа применены методические разработки международного уровня – официальные методы Международной межправительственной организации по виноградарству и виноделию OIV в форме аутентичных переводов на русский язык, а для интерпретации результатов идентификации компонентов – научные работы отечественных и зарубежных исследователей. Разработка и утверждение соответствующего нормативного документа по оценке географического происхождения винодельческой продукции будет обеспечивать практическую реализацию Федерального закона «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации» от 27.12.2019 № 468-ФЗ (в ред. ФЗ от 02.07.2021 № 345-ФЗ) как в целом, так и отдельных его положений, направленных на создание и внедрение российской национальной системы защиты винодельческой продукции по географическому указанию и месту происхождения.

Выводы

В результате анализа литературных данных установлено, что не существует единого методического решения проблемы подтверждения географического происхождения вин. Разнообразие подходов обусловлено широким перечнем показателей и методов их определения, спектром аналитического оборудования и вариабильностью моделей обработки информации. Высокая достоверность определения происхождения вин обеспечена хемометрическими методами обработки больших массивов результатов

Таблица 1. Сравнительная характеристика методических подходов к определению географического происхождения вин

Table 1. Methodological approaches to geographical authentication of wines: comparative analysis

Матрицы признаков	Возможности	Ограничения	Примечание
Оптические характеристики и кривые титрования	Широкий ряд приборного обеспечения Оперативность получения информации Оцифровывание цвета и интегральная характеристика фенольного комплекса	Значения маркеров зависят от сортовых особенностей винограда и технологических приемов переработки винограда и производства вин	Дополнительные показатели
Профиль органических кислот	Широкий ряд приборного обеспечения Оперативность получения информации Характеристика состава и содержания карбоновых кислот	Значения маркеров зависят от сортовых особенностей винограда, погодных и климатических условий Существенно варьируется при регулировании кислотности (операции подкисления или раскисления)	Дополнительные показатели
Профиль фенольных веществ	Широкий ряд приборного обеспечения Оперативность получения информации Характеристика состава и содержания различных фенольных веществ	Значения маркеров зависят от сортовых особенностей винограда и технологических приемов переработки винограда и производства вин	Дополнительные показатели
Профиль летучих веществ	Широкий ряд приборного обеспечения Относительная оперативность получения информации Характеристика состава и содержания ароматообразующих веществ	Значения маркеров зависят от сортовых особенностей винограда, метаболических особенностей штаммов микроорганизмов и технологических приемов переработки винограда и производства вин	Дополнительные показатели
Состав макро- и микроэлементов	Специальные высокочувствительные и высокоточные методы Содержание элементов в вине проявляет сильную зависимость от геохимической специфики терруара, слабую – от сортовых и технологических особенностей	Содержание некоторых элементов изменяется в технологическом процессе производства вина В случае применения рентгенофлуоресцентной спектрометрии компоненты вина оказывают мешающее влияние на точность определения	Основные показатели
Изотопный состав легких и тяжелых элементов (H, C, O, Pb, B, Sr)	Специальные высокочувствительные, высокоселективные и высокоточные методы. Изотопный состав зависит от терруара (природно-климатических условий произрастания винограда), агротехнических и технологических особенностей. Повышение информативности и достоверности выводов	В отдельных случаях требуется специальная подготовка проб перед проведением анализа	Основные показатели
Мультикомпонентный состав	Сочетание различных методических и аналитических принципов Повышение информативности и достоверности выводов Развернутая характеристика терруарных вин для подтверждения подлинности и географического происхождения	Необходимость комбинирования оборудования, использующего разные аналитические принципы измерений	Система показателей

аналитических исследований, структурированных в банках данных (принцип «отпечатков пальцев»). Обоснованные маркеры индивидуальны для географического региона (страны, зоны, терруара), их количество в различных исследованиях варьируется от 2 до 65.

На основании сравнительной характеристики методических подходов к определению географического происхождения вин в качестве наиболее информативного нами выбран комплексный подход, базирующийся на сочетании изотопного состава легких и тяжелых элементов с катионно-анионным профилем, аналитическое обеспечение которого представлено методами атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопии, спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, масс-спектрометрии изотопных отношений, а также количественной и качественной спектроскопии ядерного магнитного резонанса.

Научные исследования и методические разработки в данном направлении будут продолжены. В рамках реализации предложенного подхода будут разработаны индивидуальные «энохимические портреты» вин конкретного региона и выбраны наиболее эффективные хемометрические модели определения их географического происхождения.

Критерии авторства

Н. В. Гниломедова – проведение исследований и подготовка статьи. Н. С. Аникина и А. Ю. Колеснов – редактирование статьи и формулирование выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Contribution

N.V. Gnilomedova performed the research and wrote the manuscript. N.S. Anikina and A.Yu. Kolesnov proofread the article and formulated the conclusions.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Akamatsu F, Shimizu H, Hayashi S, Kamada A, Igi Y, Koyama K, *et al.* Chemometric approaches for determining the geographical origin of Japanese Chardonnay wines using oxygen stable isotope and multi-element analyses. Food Chemistry. 2022;371. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131113

2. Gomes AA, Khvalbota L, Machyňáková A, Furdíková K, Zini CA, Špánik I. Slovak Tokaj wines classification with respect to geographical origin by means of one class approaches. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2021;257. https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.119770

3. Shimizu H, Akamatsu F, Kamada A, Koyama K, Iwashita K, Goto-Yamamoto N. Variation in the mineral composition of wine produced using different winemaking techniques. Journal of Bioscience and Bioengineering. 2020;130(2):166–172. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2020.03.012

4. Anikina NS, Gnilomedova NV, Agafonova NM, Kolesnov AYu, Zenina MA, Tsimbalaev SR. Authentication and quality control of wine products. Methodology of general and specific indicators of Crimean grapes. Production Quality Control. 2018;(2):51–58. (In Russ.). [Контроль подлинности и качества винодельческой продукции. Методические аспекты исследования общих и специфичных показателей винограда Крыма / Н. С. Аникина [и др.] // Контроль качества продукции. 2018. № 2. С. 51–58.]. https://www.elibrary.ru/EWTJPO

5. Antonenko MV, Ageeva NM, Antonenko OP, Guguchkina TI, Shelud′ko ON, Khrapov AA, *et al.* Database of quality indicators of genuine white and rosé wines produced in the Krasnodar Territory. Russia patent RU 2022620634. 2022. [База данных показателей качества подлинных белых и розовых вин, произведенных на территории Краснодарского края: пат. 2022620634 Рос. Федерация. № 2022620491 / Антоненко М. В. [и др.]; заявл. 18.03.2022; опубл. 25.03.2022; Бюл. № 4.]. https://www.elibrary.ru/KXUIDD

6. Vasylyk AV, Ostroukhova EV, Anikina NS. Scientific and methodological foundations of the department of winemaking with geographical status in Russia: The main achievements in the way of their implementation. Scientific works of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking. 2019;22:79–88. (In Russ.). https://doi.org/10.30679/2587-9847-2019-22-79-88

7. Kalabin GA, Kozlov YuP. Application of methods quantitative NMR spectroscopy for identification authenticity and quality of natural wines and drinks. New Science: Strategies and Development Vectors. 2015;(3):49–52. (In Russ.). [Калабин Г. А., Козлов Ю. П. Использование методов количественной спектроскопии ЯМР для идентификации подлинности и качества натуральных вин и напитков // Новая наука: Стратегии и векторы развития. 2015. № 3. С. 49–52.]. https://www.elibrary.ru/UKACMP

8. Kolesnov A, Tsimbalaev S, Ivlev V, Vassiliev V, Lamerdonova F. Unified analytical algorithm for identification of component composition of winemaking products. The Journal of Almaty Technological University. 2021;(4):58–75. (In Russ.). https://doi.org/10.48184/2304-568X-2021-4-58-75

9. Kolesnov AYu, Ivlev VA, Vasil'ev VG, Tsimbalaev SR, Lamerdonova FK, Nasser Raudas AK, *et al.* Method of quantitative nuclear magnetic resonance spectroscopy QNMR for water evaluation in grapes and wine products. Viticulture and Winemaking. 2022;51:92–96. (In Russ.). [Метод количественной спектроскопии ядерного магнитного резонанса qNMR для исследования воды винограда и винодельческой продукции / А. Ю. Колеснов [и др.] // Виноградарство и виноделие. 2022. Т. 51. С. 92–96.]. https://elibrary.ru/ZPNJDV

10. Kolesnov A, Abramovich R, Zenina M, Tsimbalaev S. Mass-spectrometric study on biological and technogenic fractionation of stable isotopes of light elements in components of C3-plants grown in climatic conditions of modern natural ecosystems. Green technologies and infrastructure to enhance urban ecosystem services. Cham: Springer; 2020. pp. 100–110. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16091-3_13

11. Markovskiy MG, Burtsev BV, Guguchkina TI, Shelud'ko ON. Study of distribution and relationship of macro and microelements in the wines to determine the possibility of their geographic identification. Fruit Growing and Viticulture of South Russia. 2019;(59):155–166. (In Russ.). https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-5-59-155-166

12. Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuzmina EI, Sviridov DA, Likhovskoy VV, Zagoruyko VA, *et al.* Geographical place of origin analysis of the Crimean peninsula wine with the use of isotope mass spectrometry and chemometry. Beer and Beverages. 2020;(3):40–43. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10031

13. Ostroukhova EV, Peskova IV, Probeigolova PA, Lutkova NYu. Development of a system of indicators of quality and technological properties in the chain "grapes – must – wine material – wine" that differentiate Crimean wines by geographical origin. Magarach. Viticulture and Vinemaking. 2019;21(3):250–255. (In Russ.). https://doi.org/10.35547/IM.2019.21.3.012

14. Ostroukhova EV, Peskova IV, Rybalko EA, Tvardovskaya LB. The effect of climatic factors on the technological characteristics of red grape varieties cultivated in different regions of the republic of the Crimea. Magarach. Viticulture and Vinemaking. 2019;(2):28–31. (In Russ.). [Влияние климатических факторов на технологические характеристики винограда красных сортов, произрастающих в различных регионах Республики Крым / Е. В. Остроухова [и др.] // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2015. № 2. С. 28–31.]. https://elibrary.ru/TXKXTZ

15. Titarenko VO, Khalafyan AA, Temerdashev ZA, Kaunova AA, Abakumov AG. Identification of the varietal and regional origin of red wines by classification analysis. Journal of Analytical Chemistry. 2018;73(2):141–152. (In Russ.). https://doi.org/10.7868/S004445021802007X

16. Titarenko VO, Khalafyan AA, Temerdashev ZA, Kaunova AA, Ivanovets EA. The use of statistical methods in the classification of varietal and regional origin of white wines. Industrial Laboratopy. Materials Diagnostics. 2017;83(8):65–72. (In Russ.). [Использование статистических методов при классификации сортовой и региональной принадлежности белых вин / В. О. Титаренко [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. № 8. С. 65–72.]. https://elibrary.ru/ZCRFNH

17. Lutkov IP, Yermolin DV, Zadorozhnaya DS, Lutkova NYu. Perspective yeast races for young sparkling wines with a muscat aroma. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):312–322. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-312-322

18. Makarov AS, Lutkov IP. Yeast race effect on the quality of base and young sparkling wines. Foods and Raw Materials. 2021;9(2):290–301. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-290-301

19. Temerdashev ZA, Abakumov AG, Khalafyan AA, Ageeva NM. Correlations between the elemental composition of grapes, soils of the viticultural area and wine. Industrial Laboratopy. Materials Diagnostics. 2021;87(11):11–18. (In Russ.). https://doi.org/10.26896/1028-6861-2021-87-11-11-18

20. Strizhov NK, Sheludko ON, Maluka LM, Kosarev ES, Osipova LV, Folkin MD, *et al.* Identification of wines with protected geographical indications on based integral characteristics of product. Izvestiya Vuzov. Food Technology. 2019;371–372(5–6):99–104. (In Russ.). https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.5-6.25

21. Tochilina RP. Characteristic of the wines mineral composition as an indicator of the place of origin (Krasnodar region). Beer and Beverages. 2017;(5):28–32. (In Russ.). [Точилина Р. П. Особенности минерального состава вин как идентификационный показатель места происхождения (Краснодарский край) // Пиво и напитки. 2017. № 5. С. 28–33.]. https://elibrary.ru/ZTSZLB

22. Shelud′ko ON, Strizhov NK, Guguchkina TI, Yakuba YuF. Database on the ash elements of white grape wines of the Anapo-Taman zone of the Krasnodar Territory. Russia patent RU 2020622155. 2020. [База данных по зольным элементам вин, приготовленных из белых сортов винограда, выращенного в условиях Анапо-Таманской зоны Краснодарского края: пат. 2020622155 Рос. Федерация. № 2020621937 / Шелудько О. Н. [и др.]; заявл. 20.10.2020; опубл. 05.11.2020; Бюл. № 11.]. https://www.elibrary.ru/HLWISF

23. Semipyatniy VK, Khurshudyan SA, Galstyan AG. The identification of the primal wine production with the protected designation of origin with the appliance of cluster metrics. Problems of Nutrition. 2020;89(5):119–126. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10072

24. Astray G, Martinez-Castillo C, Mejuto J-C, Simal-Gandara J. Metal and metalloid profile as a fingerprint for traceability of wines under any Galician protected designation of origin. Journal of Food Composition and Analysis. 2021;102. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104043

25. Donarski J, Camin F, Fauhl-Hassek C, Posey R, Sudnik M. Sampling guidelines for building and curating food authenticity databases. Trends in Food Science and Technology. 2019;90:187–193. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.019

26. Hu X-Z, Liu S-Q, Li X-H, Wang C-X, Ni X-L, Liu X, *et al.* Geographical origin traceability of Cabernet Sauvignon wines based on Infrared fingerprint technology combined with chemometrics. Scientific Reports. 2019;9. https://doi.org/10.1038/s41598-019-44521-8

27. Tescione I, Casalini M, Marchionni S, Braschi E, Mattei M, Conticelli S. Conservation of $^{87}Sr/^{86}Sr$ during wine-making of white wines: A geochemical fingerprint of geographical provenance and quality production. Frontiers in Environmental Science. 2020;8. https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00153

28. Huang X-Y, Jiang Z-T, Tan J, Li R. Geographical origin traceability of red wines based on chemometric classification via organic acid profiles. Journal of Food Quality. 2017;2017. https://doi.org/10.1155/2017/2038073

29. Yakimenko EN, Ageyeva NM, Petrov VS, Mikheyev EM. Influence of agrotechnical methods of growing grapes on the composition of trace elements of table wine materials. Magarach. Viticulture and Vinemaking. 2020;22(1):39–43. (In Russ.). https://doi.org/10.35547/IM.2020.22.1.008

30. Gao F, Hao X, Zeng G, Guan L, Wu H, Zhang L, *et al.* Identification of the geographical origin of Ecolly (*Vitis vinifera* L.) grapes and wines from different Chinese regions by ICP-MS coupled with chemometrics. Journal of Food Composition and Analysis. 2022;105. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104248

31. Ranaweera RKR, Capone DL, Bastian SEP, Cozzolino D, Jeffery DW. A review of wine authentication using spectroscopic approaches in combination with chemometrics. Molecules. 2021;26(14). https://doi.org/10.3390/molecules26144334

32. Čepo DV, Karoglan M, Borgese L, Depero LE, Marguí E, Jablan J. Application of benchtop total-reflection X-ray fluorescence spectrometry and chemometrics in classification of origin and type of Croatian wines. Food Chemistry: X. 2022;13. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100209

33. Wu H, Tian L, Chen B, Jin B, Xie L, Rogers KM, *et al.* Verification of imported red wine origin into China using multi isotope and elemental analyses. Food Chemistry. 2019;301. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125137

34. Rybalko E, Ostroukhova E, Baranova N, Peskova I, Borisova V. The influence of the agroecological resources of Crimea on the primary and secondary metabolites of Aligote grapes. KnE Life Sciences. 2022;2022:112–124. https://doi.org/10.18502/kls.v7i1.10113

35. Abakumov AG, Temerdashev ZA, Ageeva NM. Influence of bentonite clays on the mineral composition of red table wines. Izvestiya Vuzov. Food Technology. 2021;382(4):22–27. (In Russ.). https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.4.4

36. Danezis GP, Georgiou CA. Elemental metabolomics: Food elemental assessment could reveal geographical origin. Current Opinion in Food Science. 2022;44. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100812

37. Lukin SV, Zhuikov DV. Monitoring of the contents of manganese, zinc, and copper in soils and plants of the central chernozemic region of Russia. Eurasian Soil Science. 2021;54(1):63–71. (In Russ.). https://doi.org/10.31857/S0032180X21010093

38. Kholdarov DM, Sobirov AO. Biological absorption coefficient of plants in salted soils and salts. Universum: Chemistry and Biology. 2021;79(1–1):23–25. (In Russ.). [Холдаров Д. М., Собиров А. О. Коэффициент биологической поглощаемости растений в засоленных почвах и солончаках // Universum: химия и биология. 2021. Т. 79. № 1–1. С. 23–25.]. https://elibrary.ru/UGAAKY

39. Ranaweera RKR, Gilmore AM, Caponea DL, Bastiana SEP, Jefferya DW. Authentication of the geographical origin of Australian Cabernet Sauvignon wines using spectrofluorometric and multi-element analyses with multivariate statistical modelling. Food Chemistry. 2020;335. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127592

40. Solovyev PA, Fauhl-Hassek C, Riedl J, Esslinger S, Bontempo L, Camin F. NMR spectroscopy in wine authentication: An official control perspective. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021;20(2):2040–2062. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12700

41. Ivlev V, Vasil'ev V, Kalabin G, Kolesnov A, Zenina M, Anikina N, *et al.* New approach for wine authenticity screening by a cumulative ^{1}H and ^{2}H qNMR. BIO Web of Conferences. 2019;15. https://doi.org/10.1051/bioconf/20191502022

42. Crook AA, Zamora-Olivares D, Bhinderwala F, Woods J, Winkler M, Rivera S, *et al.* Combination of two analytical techniques improves wine classification by Vineyard, Region, and vintage. Food Chemistry. 2021;354. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129531

43. Viskić M, Bandić LM, Korenika A-MJ, Jeromel A. NMR in the service of wine differentiation. Foods. 2021;10(1). https://doi.org/10.3390/foods10010120

44. Compendium of international methods of wine and must analysis [Internet]. [cited 2022 Oct 07]. Available from: https://www.oiv.int/en/technical-standards-and-documents/methods-of-analysis/compendium-of-international-methods-of-analysis-of-wines-and-musts

45. Müller TM, Zhong Q, Fan S, Wang D, Fauhl-Hassek C. What's in a wine? – A spot check of the integrity of European wine sold in China based on anthocyanin composition, stable isotope and glycerol impurity analysis. Food Additives and Contaminants: Part A. 2021;38(8):1289–1300. https://doi.org/10.1080/19440049.2021.1916097

46. Durante C, Bertacchini L, Cocchi M, Manzini D, Marchetti A, Rossi MC, *et al.* Development of $^{87}Sr/^{86}Sr$ maps as targeted strategy to support wine quality. Food Chemistry. 2018;255:139–146. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.084

47. Coldwell BC, Pérez NM, Vaca MC, Pankhurst MJ, Hernández PA, Rodriguez GVM, *et al.* Strontium isotope systematics of Tenerife wines (Canary Islands): Tracing provenance in ocean island terroir. Beverages. 2022;8(1). https://doi.org/10.3390/beverages8010009

48. Epova EN, Bérail S, Séby F, Vacchina V, Bareille G, Médina B, *et al.* Strontium elemental and isotopic signatures of Bordeaux wines for authenticity and geographical origin assessment. Food Chemistry. 2019;294:35–45. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.068

49. Teixeira RJS, Gomes S, Malheiro V, Pereira L, Fernandes JR, Mendes-Ferreira A, *et al.* A multidisciplinary fingerprinting approach for authenticity and geographical traceability of Portuguese wines. Foods. 2021;10(5). https://doi.org/10.3390/foods10051044

50. Đurđić S, Stanković V, Ražić S, Mutić J. Is a lead isotope ratios in wine good marker for origin assessment? Frontiers in Chemistry. 2021;9. https://doi.org/10.3389/fchem.2021.746695

51. Su Y, Zhao Y, Cui K, Wang F, Zhang J, Zhang A. Wine characterisation according to geographical origin using analysis of mineral elements and rainfall correlation of oxygen isotope values. International Journal of Food Science and Technology. 2021;57(1):552–565. https://doi.org/10.1111/ijfs.15236

52. Wu H, Lin G, Tian L, Yan Z, Yi B, Bian X, *et al.* Origin verification of French red wines using isotope and elemental analyses coupled with chemometrics. Food Chemistry. 2021;339. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127760

53. Leder R, Petric IV, Jusup J, Banović M. Geographical discrimination of Croatian wines by stable isotope ratios and multielemental composition analysis. Frontiers in Nutrition. 2021;8. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.625613

54. Lancellotti L, Sighinolfi S, Ulrici A, Maletti L, Durante C, Marchetti A, *et al.* Tracing geographical origin of Lambrusco PDO wines using isotope ratios of oxygen, boron, strontium, lead and their elemental concentration. Current Research in Food Science. 2021;4:807–814. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.11.001

55. dos Santos CE, Debastiani R, Souza VS, Peretti DE, Jobim PFC, Yoneama ML, *et al.* The influence of the winemaking process on the elemental composition of the Marselan red wine. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019;99(10):4642–4650. https://doi.org/10.1002/jsfa.9704

56. Shimizu H, Akamatsu F, Kamada A, Koyama K, Iwashita K, Goto-Yamamoto N. Effects of variety and vintage on the minerals of grape juice from a single vineyard. Journal of Food Composition and Analysis. 2022;107. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104377

57. Blotevogel S, Schreck E, Laplanche C, Besson P, Saurin N, Audry S, *et al.* Soil chemistry and meteorological conditions influence the elemental profiles of West European wines. Food Chemistry. 2019;298. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125033

58. Pérez-Álvarez EP, Garciab R, Barrulas P, Dias C, Cabrita MJ, Garde-Cerdán T. Classification of wines according to several factors by ICP-MS multi-element analysis. Food Chemistry. 2018;270:273–280. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.087

59. Hopfer H, Nelson J, Collins TS, Heymann H, Ebeler SE. The combined impact of vineyard origin and processing winery on the elemental profile of red wines. Food Chemistry. 2015;172:486–496. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.113

60. Obhođaš J, Valković V, Vinković A, Sudac D, Čanađija I, Pensa T, *et al.* X-ray fluorescence techniques for element abundance analysis in wine. ACS Omega. 2021;6(35):22643–22654. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c02731

61. Tanabe CK, Nelson J, Boulton RB, Ebeler SE, Hopfer H. The use of macro, micro, and trace elemental profiles to differentiate commercial single vineyard pinot noir wines at a sub-regional level. Molecules. 2020;25(11). https://doi.org/10.3390/molecules25112552

62. Hao X, Gao F, Wu H, Song Y, Zhang L, Li H, *et al.* From soil to grape and wine: Geographical variations in elemental profiles in different Chinese regions. Foods. 2021;10(12). https://doi.org/10.3390/foods10123108

63. Rocha S, Pinto E, Almeid A, Fernandes E. Multi-elemental analysis as a tool for characterization and differentiation of Portuguese wines according to their Protected Geographical Indication. Food Control. 2019;103:27–35. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.03.034

64. Rodrigues NP, Rodrigues E, Celso PG, Kahmann A, Yamashita GH, Anzanello MJ, *et al.* Discrimination of sparkling wines samples according to the country of origin by ICP-OES coupled with multivariate analysis. LWT. 2020;131. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109760

65. Yamashita GH, Anzanello MJ, Soares F, Rocha MK, Fogliatto FS, Rodrigues NP, *et al.* Hierarchical classification of sparkling wine samples according to the country of origin based on the most informative chemical elements. Food Control. 2019;106. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106737

66. Lima MMM, Hernandez D, Yeh A, Reiter T, Runnebaum RC. Reproducibility of elemental profile across two vintages in Pinot noir wines from fourteen different vineyard sites. Food Research International. 2021;141. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110045

67. Grainger C, Yeh A, Byer S, Hjelmeland A, Lima MMM, Runnebaum RC. Vineyard site impact on the elemental composition of Pinot noir wines. Food Chemistry. 2020;334. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127386

68. Orellana S, Johansen AM, Gazis C. Geographic classification of U.S. Washington State wines using elemental and water isotope composition. Food Chemistry: X. 2019;1. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100007

69. van der Linde G, Fischer JL, Coetzee PP. Multi-element analysis of South African wines and their provenance soils by ICP-MS and their classification according to geographical origin using multivariate statistics. South African Journal of Enology and Viticulture. 2010;31(2):143–153. https://doi.org/10.21548/31-2-1411

70. Moehring MJ, de Boves Harrington P. Analysis of wine and its use in tracing the origin of grape cultivation. Critical Reviews in Analytical Chemistry. 2021;52(8):1901–1912. https://doi.org/10.1080/10408347.2021.1925082

71. Geană E-I, Artem V, Apetrei C. Discrimination and classification of wines based on polypyrrole modified screen-printed carbon electrodes coupled with multivariate data analysis. Journal of Food Composition and Analysis. 2021;96. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103704

72. Maltsev AS, Yusupov RA, Bakhteev SA. Overcoming absorption effects in the determination of light elements in beverages by total-reflection X-ray spectrometry. X-Ray Spectrometry. 2022:1–8. https://doi.org/10.1002/xrs.3283

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2431
https://elibrary.ru/UFSGXM

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Технологические свойства теста из смеси ржаной и пшеничной муки с продуктами переработки облепихи

С. И. Конева[1], А. С. Захарова[1], Л. Е. Мелёшкина[1], Е. Ю. Егорова[1,*], И. А. Машкова[2]

[1] *Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Барнаул, Россия*

[2] *Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Могилев, Республика Беларусь*

Поступила в редакцию: 04.08.2022
Принята после рецензирования: 30.08.2022
Принята к публикации: 06.09.2022

**Е. Ю. Егорова: egorovaeyu@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4990-943X*
С. И. Конева: https://orcid.org/0000-0002-6727-5979
А. С. Захарова: https://orcid.org/0000-0002-7571-0950
Л. Е. Мелёшкина: https://orcid.org/0000-0003-0812-3630
И. А. Машкова: https://orcid.org/0000-0002-9948-6754

© С. И. Конева, А. С. Захарова, Л. Е. Мелёшкина, Е. Ю. Егорова, И. А. Машкова, 2023

Аннотация.
Введение продуктов переработки плодово-ягодного сырья в рецептуры хлебобулочных и мучных кондитерских изделий сопровождается изменением реологических свойств и качества теста. Плоды облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) и продукты их переработки, благодаря богатому биохимическому составу, рассматриваются как ценные пищевые ингредиенты. Целью работы являлось комплексное исследование технологических свойств теста из мучных смесей, приготовленных на основе ржаной и пшеничной муки с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта.
Объектами исследования являлись сухой экстракт из плодов облепихи (ООО «Вистерра», Россия) и измельченный облепиховый шрот, который получили после отжима облепихового сока с последующей сушкой конвективным способом; мучные смеси из ржаной обдирной муки и муки пшеничной первого сорта (60:40) с добавлением облепихового экстракта и шрота; тесто и хлеб из экспериментальных мучных смесей. В работе использовали стандартные и отраслевые методы контроля сырья, полуфабрикатов и готовой продукции хлебопекарного производства.
Результаты исследования свидетельствуют о том, что облепиховые шрот и экстракт можно рассматривать в качестве источника белка (10,3 и 4,3 %), сырой клетчатки (8,7 и 0,3 %), пектина (5,27 и 0,11 %) и аскорбиновой кислоты (21,63 и 53,68 мг/100 г). Высокая кислотность вносимых продуктов переработки облепихи (4,9 и 3,0 % для экстракта и шрота соответственно) способствует более длительному набуханию белковых веществ и пищевых волокон, а также тормозит действие активной α-амилазы. Это приводит к улучшению реологических свойств и увеличению времени образования и стабильности теста. Установлено положительное влияние продуктов переработки облепихи на процессы кристаллизации крахмала, что предполагает снижение эффекта его ретроградации при хранении выпеченного хлеба. Установлена возможность сокращения дозировки жидкой ржаной закваски в два раза от традиционной (с 30 до 15 %). Достижение конечной кислотности 7,5–8,0 град. отмечено через 80 мин брожения, что на 10 мин меньше, чем в варианте с контрольным образцом. Выпеченный хлеб получился правильной формы, с хорошо разрыхленным и не заминающимся мякишем, с приятным облепиховым привкусом и ароматом.
Полученные результаты изучения биохимических свойств продуктов переработки облепихи и улучшения технологических свойств теста и выпеченного хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки подтверждают возможность использования продуктов переработки облепихи в качестве дополнительных компонентов-подкислителей, позволяющих регулировать амилолитическую активность теста из смеси ржаной и пшеничной муки, при сокращении дозировки жидкой ржаной закваски до 15 % и продолжительности брожения теста из смеси ржаной и пшеничной муки до кислотности 7,5–8,0 град.

Ключевые слова. *Hippophaë rhamnoides* L., облепиховый шрот, сухой облепиховый экстракт, тесто, реологические свойства, амилолитическая активность, миксолабограмма

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) (мнемокод 0611-2020-013; номер темы FZMM-2020-0013, ГЗ № 075-00316-20-01).

Для цитирования: Технологические свойства теста из смеси ржаной и пшеничной муки с продуктами переработки облепихи / С. И. Конева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 247–258. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2431

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2431
https://elibrary.ru/UFSGXM

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Technological Properties of Dough from a Mix of Rye and Wheat Flour with Processed Sea Buckthorn

Svetlana I. Koneva[1], Alexandra S. Zakharova[1], Larisa E. Meleshkina[1], Elena Yu. Egorova[1,*], Iryna A. Mashkova[2]

[1] *Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia*

[2] *Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus*

Received: 04.08.2022
Revised: 30.08.2022
Accepted: 06.09.2022

**Elena Yu. Egorova: egorovaeyu@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4990-943X*
Svetlana I. Koneva: https://orcid.org/0000-0002-6727-5979
Alexandra S. Zakharova: https://orcid.org/0000-0002-7571-0950
Larisa E. Meleshkina: https://orcid.org/0000-0003-0812-3630
Iryna A. Mashkova: https://orcid.org/0000-0002-9948-6754

© S.I. Koneva, A.S. Zakharova, L.E. Meleshkina, E.Yu. Egorova, I.A. Mashkova, 2023

Abstract.
Processed fruit and berry raw materials often become part of bakery formulations. They increase the nutritional value of the finished product and change the rheological properties of the dough. Processed sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) maintains natural biochemical properties, which makes it a valuable food ingredient. The research objective was to conduct a comprehensive study of the technological properties of dough made of rye and wheat flour with sea buckthorn meal and dry sea buckthorn extract.

The research involved sea buckthorn extract and meal mixed with wheat and rye flour, as well as dough and bread from the experimental flour mixes. The experimental part included standard methods used in the bakery industry.

The sea buckthorn meal and extract contained protein (10.3 and 4.3%), crude fiber (8.7 and 0.3%), pectin (5.27 and 0.11%), and ascorbic acid (21.63 and 53.68 mg/100 g). They were highly acidic: 4.9 and 3.0%, respectively. As a result, protein substances and dietary fibers took a longer time to swell. The high acidity also inhibited α-amylase, which improved the rheological properties but increased the dough development time and stability. The sea buckthorn products had a positive effect on the starch crystallization processes and reduced the storage-related starch degradation. The sensory evaluation of the bread described its shape as regular, with fluffy crumb and pleasant sea buckthorn flavor.

Thus, sea buckthorn meal and extract proved excellent technological acidifiers and regulators of amylolytic activity. The additives made it possible to reduce the amount of liquid rye sourdough from 30 to 15% and the fermentation time because the dough acidity reached 7.5–8.0 degrees.

Keywords. *Hippophaë rhamnoides* L., dough, sea buckthorn meal, dry sea buckthorn extract, rheological properties, amylolytic activity, mixolabogram

Funding. This work was supported by the project 075-00316-20-01 (FZMM-2020-0013, mnemocode 0611-2020-013) from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauki).

For citation: 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

Введение

Совершенствование технологий производства продуктов питания посредством направленной коррекции их химического состава за счет использования биологически ценного природного сырья является важной задачей, интересующей специалистов пищевой промышленности во всем мире. Такая коррекция должна осуществляться в отношении продуктов питания массового потребления как наиболее эффективная.

Хлебобулочные и мучные кондитерские изделия сохраняют свои позиции как наиболее

потребляемые группы продуктов. Это обуславливает целесообразность работы над повышением их пищевой ценности и поиском новых технологических решений и видов сырья. Определенные перспективы может иметь введение в их состав плодово-ягодных шротов и экстрактов, характеризующихся высоким содержанием биологически активных веществ, сбраживаемых углеводов и органических кислот [1–3]. Для экстрактов доказаны не только возможность извлечения комплекса биологически активных веществ из плодово-ягодного сырья в процессе экстрагирования, но и сохранение антиоксидантной активности [4–6].

Примером ценного дикорастущего сырья Алтайского края, способного служить источником дополнительных макро- и микронутриентов для производства разных продуктов питания, являются плоды облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.). Плоды облепихи содержат почти 200 видов соединений: углеводный комплекс представлен сахарами и пектиновыми веществами, плоды богаты органическими кислотами, полифенольными веществами и каротиноидами, есть водо- и жирорастворимые витамины; определенную ценность представляет состав минеральных веществ [7–10]. Ценность каротиноидов и полифенолов облепихи заключается в антиоксидантной и провитаминной активности. Это выражается в проявлении гипохолестеринемического, антисклеротического и спазмолитического эффектов, регуляции синтеза желчных кислот, антимутагенных и противоопухолевых свойств [11–16]. Содержание токоферолов в плодах различных сортов облепихи варьируется от 12 до 65 мг/100 г [17].

Достаточно высокое содержание биологически активных компонентов в плодах облепихи определяет интерес специалистов к самой облепихе и продуктам ее переработки – маслу, соку, экстрактам и шроту [18–21]. Облепиховый шрот отличается высоким содержанием каротиноидов (5–15 мг/100 г), пищевых волокон (до 50,5 %, в т. ч. клетчатка – 19,98 %, гемицеллюлозы – 10,69 % и лигнин – 18,36 %), флавоноидов, ряда витаминов и минеральных элементов (B_1, B_2, PP, C, P, E, калий, кальций, магний, железо, цинк, медь и марганец). Установлено наличие в облепиховом шроте биологически активных урсоловой и олеаноловой кислот, а наличие лигнин-углеводного комплекса обуславливает комплексообразующие и адсорбционные свойства шрота по отношению к ионам тяжелых металлов [1, 22]. В экстракты плодов облепихи переходит определенное количество липидов, поэтому они являются ценным источником водо- и жирорастворимых биологически активных соединений: токоферолов, каротиноидов, полифенолов, органических кислот, витаминов и минеральных веществ, которые обладают антиоксидантной эффективностью [8, 23, 24].

С технологической точки зрения использование облепихового шрота и сухого облепихового экстракта в условиях хлебопекарного производства имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием плодов облепихи. И шрот, и экстракт – это сыпучее сырье с низкой влажностью, легко дозируемое и смешивающееся с мукой, имеющее высокую кислотность (что важно для теста из смеси ржаной и пшеничной муки) и обладающее достаточной степенью гидратации. Можно предположить, что высокая кислотность продуктов переработки облепихи способна влиять на углеводно-амилазный комплекс ржано-пшеничного теста, в том числе на активность α-амилазы. Изменение углеводно-амилазного комплекса будет оказывать влияние на процессы клейстеризации крахмала и на последующий процесс его ретроградации. Нерастворимые в воде пищевые волокна должны способствовать изменению водопоглотительной способности мучных смесей, что повлияет на продолжительность замеса полуфабрикатов и их стабильность [25, 26]. Таким образом, облепиховый шрот и экстракт не могут не оказывать влияние на реологические свойства полуфабрикатов, что будет предопределять качество готовой продукции.

Анализ публикаций свидетельствует о дефиците научных данных, позволяющих установить влияние продуктов переработки облепихи на реологические и технологические свойства теста. Во многих научных работах встречаются сведения о влиянии разных функциональных добавок на реологические свойства пшеничного и ржаного теста [27–31]. Однако сведений об изменении реологических свойств теста из смеси ржаной и пшеничной муки как с внесением продуктов переработки облепихи, так и без них в научной литературе не представлено. Торговые наименования хлеба, выпеченного из смеси ржаной и пшеничной муки в соотношении 60:40, относятся к наиболее востребованным у потребителей.

Целью работы являлось исследование реологических свойств теста из мучных смесей, приготовленных из ржаной и пшеничной муки с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта, и выявление общих закономерностей влияния дозировки продуктов переработки облепихи на эти свойства и процессы, характеризующие скорость образования и стабильность теста, амилотическую активность и ретроградацию крахмала, с обоснованием режимов технологического процесса приготовления теста.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования на разных этапах работы выступали:

– сухой экстракт из плодов облепихи производства ООО «Вистерра» (Алтайский край, с. Алтайское; СТО 20997969003-2014), представляющий собой

мелкодисперсный порошок желто-оранжевого цвета с ярко выраженным вкусом и запахом облепихи;
– измельченный шрот из плодов облепихи, который получали из плодов ягоды после отжима облепихового сока с последующей сушкой конвективным способом при температуре 55–60 °С в течение 3–4 ч до содержания влаги в продукте 10–11 %. Высушенный шрот подвергали измельчению и просеивали на ситах с размером ячеек 0,5 мм. Полученный облепиховый шрот представлял собой оранжево-коричневый порошок с дисперсностью менее 0,5 мм и обладал характерным вкусом плодов облепихи;
– мучные смеси из ржаной обдирной муки и муки пшеничной хлебопекарной первого сорта (соотношение 60:40) и сухого облепихового экстракта в соотношении 92,5:7,5 (по массе);
– мучные смеси из ржаной обдирной муки и муки пшеничной хлебопекарной первого сорта (соотношение 60:40) и облепихового шрота в соотношении 92,5:7,5 (по массе);
– тесто и хлеб, приготовленные на основе экспериментальных мучных смесей.

Дозировка внесения в мучные смеси облепихового шрота и экстракта 7,5 % установлена как максимально возможная по результатам серии предварительных исследований, показавших, что повышение дозировки подавляет бродильную активность дрожжей.

Массовую долю влаги в продуктах переработки плодов облепихи определяли с использованием установки измерительной воздушно-тепловой АСЭШ-8-1, массовую долю золы – с использованием печи муфельной МИМП-10У, массовую долю сырой клетчатки – по ГОСТ 31675-2012 с использованием прибора для извлечения и определения общего содержания клетчатки FIWE. Кислотность продуктов переработки плодов облепихи определяли по ГОСТ 151113.5-77. Определение белка провели на установке Кьельдаля по ГОСТ 10846-91. При установлении массовой доли сырого жира по методике ГОСТ 15113.9-77 использовали экстракционный аппарат SER-148. Для определения каротиноидов в работе использовали фотометр электрический КФК-3-01 ЗОМЗ и методику ГОСТ Р 51181-98. Массовую долю аскорбиновой кислоты устанавливали титриметрическим методом по ГОСТ 24556-89, массовую долю пектина – фотометрическим методом по ГОСТ 32223-2013, массовую долю редуцирующих веществ и сахаров – перманганатным методом по ГОСТ 8756.13-87.

Замес теста реализован в лабораторной тестомесилке У1-ЕТВ. Органолептические и физико-химические характеристики теста изучали по принятым в хлебопекарной отрасли методикам (Правила организации и ведения технологического процесса на хлебопекарных предприятиях, 1999). Реологические свойства теста изучали на приборе Mixolab (Chopin Technologies, Франция) по методике ГОСТ ISO 17718-2015 с использованием режима для теста из смеси ржаной и пшеничной муки в соответствии с техническим описанием к прибору в протоколе «Chopin+», имитирующем технологические условия приготовления теста и выпечки хлеба.

Экспериментальные образцы хлеба выпекали в лабораторной хлебопекарной печи конвекционного типа UNOXXB 693 (UNOX, Италия). В качестве базовой рецептуры использовали унифицированную рецептуру хлеба «Дарницкий» (соотношение ржаной и пшеничной муки 60:40). Приготовление теста осуществляли в две фазы: закваска – тесто. Контрольные образцы хлеба выпекали без введения продуктов переработки облепихи. Облепиховый шрот и сухой облепиховый экстракт вносили в количестве 7,5 % к массе муки на этапе замеса теста. При замесе теста для проб с добавлением облепихового шрота и экстракта расход жидкой ржаной закваски сокращали до 15 %. Варианты опыта: образец 1 – контроль, образец 2 – тесто из смеси ржаной и пшеничной муки с добавлением 7,5 % сухого облепихового экстракта, образец 3 – тесто из смеси ржаной и пшеничной муки с добавлением 7,5 % облепихового шрота.

Органолептические показатели качества хлеба определяли в соответствии с методиками ГОСТ 5667-65. Профилограмма хлеба из экспериментальных мучных смесей построена по результатам оценки качества выпеченных изделий с использованием 5-балльной шкалы.

Все исследования проводили в 3-кратной повторности с обработкой результатов в программном приложении Microsoft Office Excel.

Результаты и их обсуждение

Фактические значения компонентов биохимического состава облепихового экстракта и шрота, определенные авторами, представлены в таблице 1. Согласно результатам анализа шрот и экстракт характеризуются высоким содержанием редуцирующих веществ (14,81 и 35,77 % соответственно), основными в составе которых являются простые сахара.

Согласно результатам лабораторных исследований рассматриваемого дополнительного сырья облепиховый шрот отличается высоким содержанием белка (10,3 ± 0,5 %), сырой клетчатки (8,7 %) и пектина (5,27 %) по сравнению с облепиховым экстрактом (4,3 ± 0,2, 0,3 и 0,11 % соответственно). Оба вида сырья богаты органическими кислотами и витамином С. Рассматривая эти виды сырья в качестве источников незаменимых нутриентов, можно отметить преимущества каждого из них. Высокая кислотность исследуемых продуктов переработки облепихи (4,9 и 3,0 % в пересчете на яблочную кислоту для экстракта и шрота соответственно) может способствовать более длительному

Таблица 1. Химический состав облепихового шрота и сухого облепихового экстракта

Table 1. Chemical composition of sea buckthorn meal and extract

Наименование показателя	Значение показателя/Продукт переработки плодов облепихи	
	Сухой облепиховый экстракт	Облепиховый шрот
Массовая доля влаги, %	4,5 ± 0,3	9,1 ± 0,3
Массовая доля белка, %	4,3 ± 0,2	10,3 ± 0,5
Массовая сырого жира, %	0,9 ± 0,2	26,9 ± 4,3
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,30 ± 0,01	8,70 ± 0,02
Массовая доля золы, %	1,80 ± 0,03	2,58 ± 0,02
Массовая доля каротиноидов, мг/100 г	2,20 ± 0,02	3,73 ± 0,02
Кислотность, % (на яблочную кислоту)	4,90 ± 0,07	3,00 ± 0,02
Массовая доля аскорбиновой кислоты, мг/100 г	53,68 ± 0,06	21,63 ± 0,02
Массовая доля пектина, %	0,11 ± 0,01	5,27 ± 0,02
Массовая доля редуцирующих веществ, %	35,77 ± 0,05	14,81 ± 0,01
Массовая доля сахаров, %	20,16 ± 0,03	10,08 ± 0,02

набуханию белковых веществ и пищевых волокон при замесе теста, тормозить действие активной α-амилазы, содержащейся в ржаной муке, и улучшить реологические свойства теста.Это позволит использовать облепиховый шрот и сухой экстракт в качестве сырья, способного выполнять функции технологических компонентов для регулирования свойств теста.

Данные миксолабограмм смесей из ржаной и пшеничной муки с добавлением и без добавления продуктов переработки облепихи (рис. 1–3) демонстрируют наличие выраженных различий в параметрах реологического профиля и оцениваемых прибором индексов. Это свидетельствует о разной скорости процессов образования и развития теста.

Основные параметры протокола «Chopin+» представлены в таблице 2.

В таблице 3 приведены расчетные данные скоростей, характеризующих биохимические реакции при проведении исследования в точках экстремума графика миксолабограммы в пяти интервалах температур: α – характеристика скорости разжижения, β – характеристика скорости реакции клейстеризации крахмала, γ – характеристика скорости амилолиза. Для построения целевого профиля – профайлера экспериментальных образцов теста (рис. 4) – и интерпретации полученных данных использовали приведенные в таблице 4 интегрированные индексы миксолаба исследуемых образцов.

Хлебопекарные свойства ржаной муки отличаются от свойств пшеничной муки более активными амилолитическими ферментами, более низкой температурой клейстеризации крахмала и его более высокой податливостью при воздействии ферментов. Кроме того, ржаная мука обладает высоким

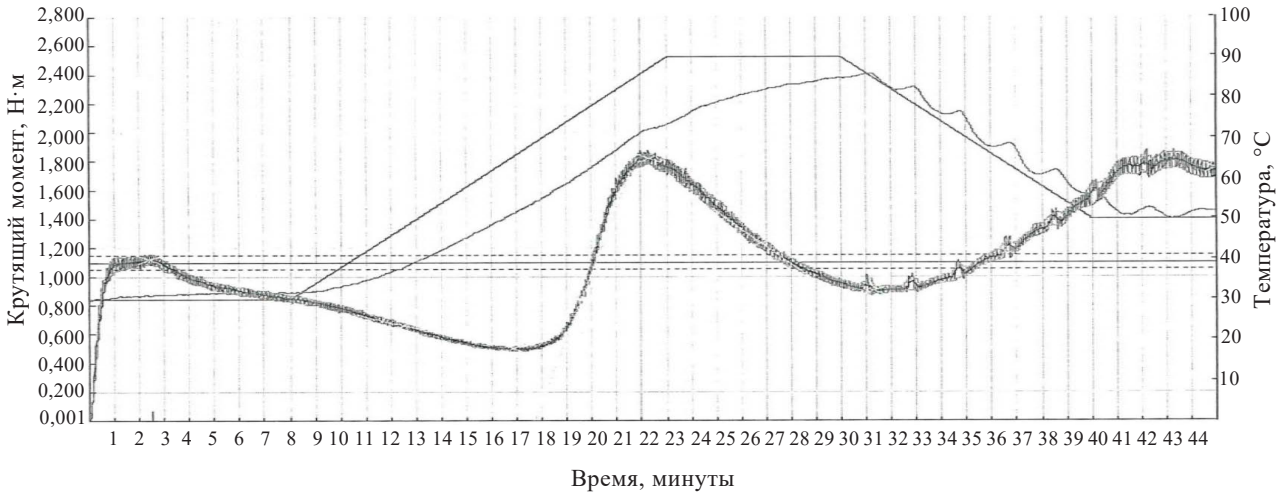


Рисунок 1. Миксолабограмма теста из смеси ржаной и пшеничной муки, соотношение 60:40 (образец 1 – контроль)

Figure 1. Mixolabogram of dough from a mix of rye and wheat flour, ratio 60:40 (sample 1 served as control)

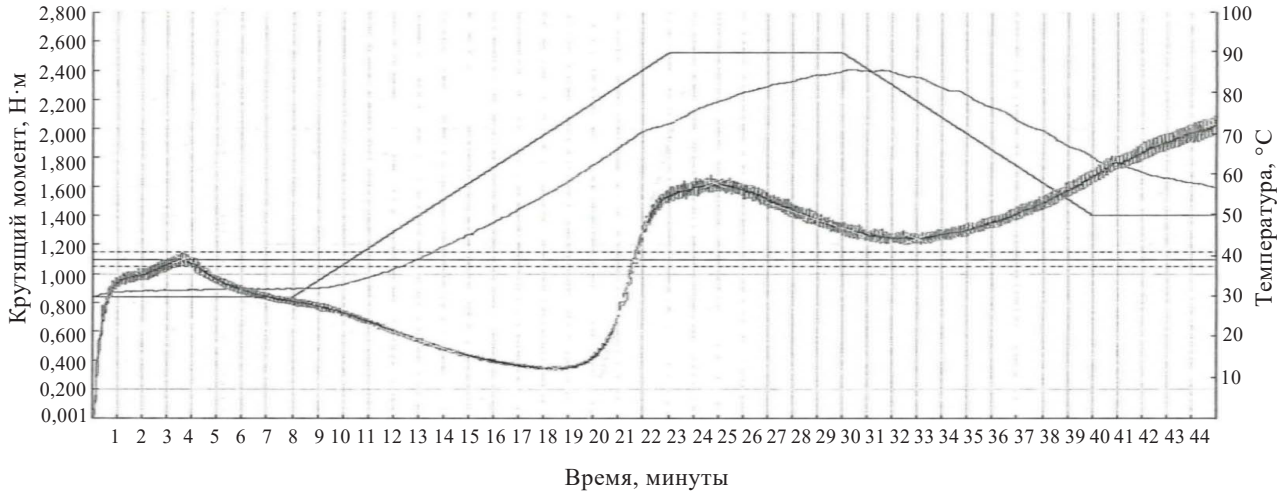


Рисунок 2. Миксолабограмма теста из смеси ржаной и пшеничной муки (соотношение 60:40) с добавлением 7,5 % экстракта облепихи (образец 2)

Figure 2. Mixolabogram of dough from a mix of rye and wheat flour (ratio 60:40) with 7.5% sea buckthorn extract (sample 2)

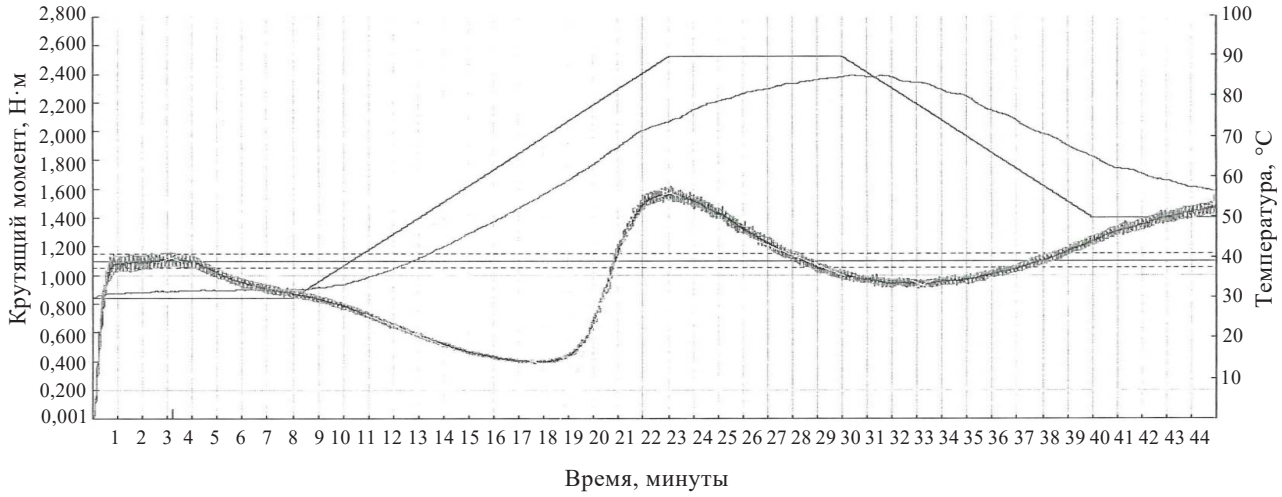


Рисунок 3. Миксолабограмма теста из смеси ржаной и пшеничной муки (соотношение 60:40) с добавлением 7,5 % облепихового шрота (образец 3)

Figure 3. Mixolabogram of dough from a mix of rye and wheat flour (ratio 60:40) with 7.5% sea buckthorn meal (sample 3)

Таблица 2. Основные параметры протокола «Chopin+»

Table 2. Chopin+ protocol: main parameters

Образец	Водопоглотительная способность, %	Стабильность, мин	C1		C2		C3		C4		C5	
			t, мин	M, Н·м	*t*, мин	M, Н·м	*t*, мин	M, Н·м	*t*, мин	M, Н·м	*t*, мин	M, Н·м
1	65,2	3,78	2,43	1,12	16,85	0,50	22,32	1,82	31,30	0,90	45,03	1,75
2	61,4	5,17	3,15	1,12	17,57	0,40	23,05	1,57	33,20	0,93	45,02	1,50
3	56,5	3,92	3,67	1,10	18,48	0,34	24,87	1,62	33,00	1,24	45,05	2,04

M – момент силы теста, *t* – время. Точки экстремума графика, характеризующие процессы: C1 – образование теста при 30 °C; C2 – разжижение теста при последовательном повышении температуры от 30 до 90 °C; C3 – максимальная скорость гелеобразования крахмала при 90 °C; C4 – начало ретроградации крахмала при последовательном снижении температуры от 90 до 50 °C; C5 – окончание ретроградации крахмала при 50 °C.

M – moment of force of the dough; *t* – time. Extremum points: C1 – dough formation at 30°C; C2 – liquefaction of the dough with a consistent increase in temperature from 30 to 90°C; C3 – maximal rate of starch gelation at 90°C; C4 – onset of starch retrogradation with a gradual decrease in temperature from 90 to 50°C; C5 – end of starch retrogradation at 50°C.

Таблица 3. Расчетные данные скоростей реакций

Table 3. Calculated reaction rates

Пробы	Скорости реакций, Н·м/мин		
	α	β	γ
Образец 1	–0,400	0,448	–0,122
Образец 2	–0,070	0,480	–0,070
Образец 3	–0,058	0,600	–0,058

α – характеристика скорости реакции разжижения; β – характеристика скорости реакции клейстеризации крахмала; γ – характеристика скорости амилолиза.

α – liquefaction reaction rate; β – starch gelatinization reaction rate; γ – amylolysis rate.

Таблица 4. Индексы профайлера миксолаба

Table 4. Mixolab profiler indexes

Наименование и обозначение показателя	Образцы мучных смесей		
	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Водопоглотительная способность	8	3	8
Индекс «Замес» (С1)	2	2	2
Индекс «Глютен+» (С2)	8	5	5
Индекс «Вязкость» (С3)	6	3	3
Индекс «Амилолитическая активность» (С4)	1	3	1
Индекс «Ретроградация крахмала» (С5)	5	4	3

содержанием собственных сахаров и пентозанов, а ее белковые вещества характеризуются способностью к неограниченному набуханию и пептизации. Все это обуславливает отличия механизма образования и развития ржаного теста и теста из смеси ржаной и пшеничной муки по сравнению с пшеничным. Таким образом, реологические свойства теста из смеси ржаной и пшеничной муки – водопоглотительная способность, время образования и консистенция теста, его стабильность и вязкость при замесе – обусловлены не столько качеством и количеством белковых веществ, активностью протеолитических ферментов, сколько активностью амилолитических ферментов и состоянием крахмала и пентозанов.

Приготовление теста из смеси ржаной и пшеничной муки сопровождается сложным комплексом биохимических, микробиологических и физико-химических процессов, влияющих на его реологические свойства. Это гидратация глиадинов и глютенинов, крахмала и пентозанов, переход в жидкую фазу теста глобулинов, альбуминов и растворимых углеводов. Хотя ржаная мука содержит эффективные

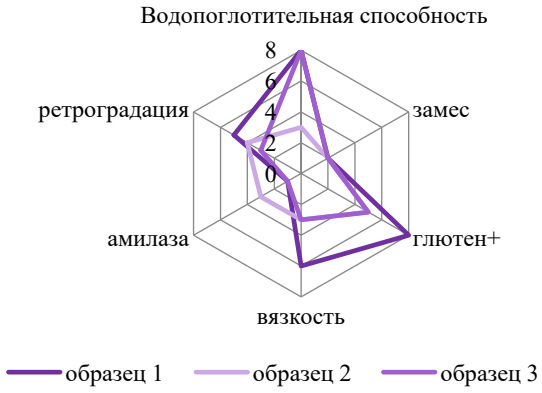


Рисунок 4. Профайлер образцов теста из экспериментальных мучных смесей

Figure 4. Profiler of experimental dough samples

фракции проламинов и глютенинов, пентозаны ржаной муки обволакивают белковые элементы клейковины, что препятствует образованию стабильного клейковинного каркаса. Пентозаны связывают воду на своей поверхности, но эта вода не встраивается в структурную решетку. Как следствие, ржаное тесто отличается клейкой и слизистой консистенцией и отсутствием клейковинного каркаса, а время образования теста из смеси ржаной и пшеничной муки меньше, чем время образования пшеничного теста.

Помимо исходного состояния углеводно-амилазного и белково-протеиназного комплексов муки, на свойства теста оказывает влияние химический состав вносимых ингредиентов – продуктов переработки облепихи. Введение в состав мучных смесей облепихового шрота и экстракта привело к снижению значений водопоглотительной способности. Одно из принципиально важных технологических отличий облепихового шрота заключается в том, что часть углеводов представлена нерастворимыми в воде высокомолекулярными полисахаридами (клетчаткой), гемицеллюлозами, лигнином и пектиновыми веществами, способными хорошо удерживать воду. Пектиновые вещества облепихи представляют собой смесь линейных и разветвленных полимеров (преимущественно высокомолекулярных), α-D-галактуронана и других полисахаридов, в макромолекулы которых входят остатки галактуроновой кислоты и нейтральные сахара. По степени этерификации облепиховый пектин относится к низкоэтерифицированным и имеет высокую молекулярную массу, а также отличается высоким содержанием ацетильных групп. Это обуславливает его пониженную желирующую способность [9]. Можно предположить, что на этапе замеса теста из смеси ржаной и пшеничной муки главную роль играет снижение способности белковых веществ муки к набуханию при повышении активной кислотности

среды, вызванной внесением облепихового экстракта и шрота. Вышесказанное определяет снижение водопоглотительной способности мучных смесей при добавлении облепихового шрота (с 65,2 до 61,4 %), а внесение экстракта, в составе которого практически отсутствуют белковые вещества и пищевые волокна, обуславливает еще большее снижение водопоглотительной способности (до 56,5 %).

Для теста из ржаной муки или из смеси ржаной и пшеничной муки характерными особенностями являются короткое время образования теста и быстрое его разжижение. Невысокая стабильность такого теста связана с быстрым набуханием гидрофильных белков и особенностями свойств крахмала ржаной муки. Добавление облепихового шрота в мучные смеси сопровождается увеличением времени образования теста (с 2,43 до 3,15 мин), еще более выраженное увеличение (до 3,67 мин) наблюдается при внесении экстракта. Высокая кислотность этих ингредиентов (4,9 и 3,0 % в пересчете на яблочную кислоту для экстракта и шрота соответственно) способствует более длительному набуханию белковых веществ и пищевых волокон, а также тормозит на этом этапе действие активной α-амилазы.

При внесении облепихового шрота и экстракта происходит увеличение времени стабильности теста, особенно для образца со шротом (до 5,17 мин), по сравнению с контролем. Значение индекса «Замес» (индекс = 2) для всех образцов теста является свидетельством невысокой стабильности, характерной для теста с преобладанием ржаной муки.

Индекс «Глютен+» отражает состояние структуры белковых веществ при нагревании теста в температурном интервале 30–60 ºС в течение II фазы, во время которой происходит набухание крахмальных гранул и начинается денатурация белков. Тесто из смеси ржаной и пшеничной муки обладает структурно-механическими свойствами с преобладанием высокой вязкости, пластичности и низкой упругости. Это обусловлено соотношением и состоянием жидкой фазы теста, представленной вязким коллоидным раствором, в которой находятся пептизированные пентозаны и белки, декстрины и другие растворимые вещества, и твердой фазы теста, состоящей из ограниченно набухших зерен крахмала, белковых веществ и частиц оболочек.

Высокое содержание в ржаной муке пентозанов, вступающих во взаимодействие с белковыми веществами, приводит к образованию белково-углеводных комплексов, отличающихся по своим свойствам от исходных белков. Высокие значения индекса «Глютен+» для исследуемых проб свидетельствуют об эластичности теста, что для теста из смеси ржаной и пшеничной муки является отрицательным фактором, т. к. это будет препятствовать поднятию теста во время выпечки. Наиболее высоким значением индекса «Глютен+» отличался контрольный образец (индекс = 8), что подтверждает необходимость использования заквасок в технологии исследуемого теста. Внесение в рецептуру облепихового шрота и сухого экстракта, имеющих высокую кислотность, позволило снизить этот индекс до 5 за счет пептизации белковых веществ мучных смесей.

Во время III фазы анализа («Клейстеризация крахмала») температура теста возрастает с 60 до 90 °С. Такой температурный режим характеризует изменения структуры крахмала и амилолитическую активность. В исследуемом интервале температур активность амилолитических ферментов максимальна, идет активный амилолиз крахмала с образованием низкомолекулярных декстринов, разжижающих тесто и снижающих вязкость полуфабрикатов. Пики на миксолабограммах рисунков 2 и 3, наблюдаемые при введении облепихового шрота и экстракта, более низкие и сглаженные, а также появляются позднее, чем у контрольного образца (рис. 1). Это свидетельствует о менее интенсивном процессе разжижения теста. Наиболее выражены отмеченные изменения в варианте теста с добавлением облепихового экстракта.

Как известно, при созревании и выпечке теста из смеси ржаной и пшеничной муки основным фактором, позволяющим регулировать технологические свойства теста и обеспечивать необходимые потребительские свойства хлеба, является кислотность вводимых заквасок (подавляющих избыточную активность амилолитических ферментов ржаной муки). В составе теста из экспериментальных мучных смесей такую функцию частично выполняют органические кислоты продуктов переработки облепихи. Анализ значений индексов «Вязкость» с учетом индексов «Глютен+» и «Амилолитическая активность» показывает, что тесто обладает высокой вязкостью, которая зависит от активности амилолитических ферментов, свойств и состояния крахмала и пентозанов и наличия периферийных частиц зерна, а также от присутствия в тесте ингредиентов, имеющих кислую реакцию. Подтверждением сказанному служит наибольшее значение индекса «Вязкость», отмеченное у контрольного образца (индекс = 6), в то время как у проб теста с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта этот индекс снижается до 3.

Значения крутящего момента и расчетные данные скоростей биохимических реакций (табл. 2 и 3) показывают, что наибольшие скорости амилолиза γ и реакции разжижения α характерны для контрольного образца теста (γ = –0,122 Н·м/мин; α = –0,40 Н·м/мин). Это свидетельствует о быстром разжижении теста при нагреве и является признаком высокой активности амилолитических ферментов при отсутствии подкислителей в составе теста или недостаточной их дозировке. Значения крутящего момента на 2 и 3 фазах (точки С2 и С3) снижаются у образцов 2 и 3 по сравнению с образцом 1 (контроль).

Таблица 5. Технологические режимы приготовления теста

Table 5. Technological modes of dough processing

Наименование показателя процесса	Значение показателя		
	Образец 1 (контроль)	Образец 2	Образец 3
Температура теста, °С	28–29	28–29	28–29
Влажность теста, %	49,0	48,5	48,5
Кислотность теста начальная, град.	4,0	4,5	4,0
Продолжительность брожения, мин	90	80	80
Кислотность теста конечная, град.	7,5	7,5	8,0

Скорость реакции клейстеризации крахмала β, характеризующая процесс набухания крахмальных гранул и стабильность крахмального клейстера, при добавлении облепихового экстракта возрастает менее значительно (β = 0,448 Н·м/мин), чем при добавлении облепихового шрота (β = 0,600 Н·м/мин), а увеличение значений крутящего момента до 0,93 и 1,24 Н·м соответственно позволяет прогнозировать повышение устойчивости к черствению образцов хлеба с добавлением продуктов переработки облепихи.

Индекс «Ретроградация крахмала», характеризующий изменение углеводно-амилазного комплекса при снижении температуры с 90 до 50 °С, показывает возможные изменения гидрофильных свойств мякиша при хранении, связанные с синерезисом крахмала, клейстеризованным в процессе выпечки. В проведенной серии исследований значение этого показателя снижается при добавлении облепихового шрота и сухого облепихового экстракта, что свидетельствует о замедлении процесса кристаллизации биополимеров муки (крахмала и белковых веществ) и лучшем сохранении свежести мякиша хлеба.

Результаты проведенных исследований согласуются с опубликованными ранее данными о том, что добавление продуктов переработки облепихи меняет свойства теста, и их использование в производстве массовых сортов хлеба может привести к необходимости подбора специальных технологических режимов приготовления теста, расстойки и выпечки хлеба [3, 26]. В этой связи на следующем этапе исследования был осуществлен подбор технологических режимов приготовления теста (табл. 5).

В качестве базовой рецептуры использовали унифицированную рецептуру хлеба «Дарницкий» из смеси ржаной и пшеничной муки (соотношение 60:40). Тесто для контрольного образца готовили на жидкой ржаной закваске (дозировка 30 %). Продукты переработки плодов облепихи – шрот и сухой экстракт – характеризуются высоким содержанием органических кислот. В результате этого при их содержании в тесте в дозировке 7,5 % начальная кислотность теста возрастала. Это создавало благоприятные условия для мгновенно развивающегося активного молочнокислого брожения, накопления вкусовых и ароматических компонентов и быстрого достижения необходимой конечной кислотности теста. Резкое повышение начальной кислотности теста тормозило действие активной α-амилазы и процесс декстринообразования, благодаря чему стабилизировало физические свойства теста и обеспечивало снижение температуры инактивации α-амилазы. Все эти факторы позволили сократить расход жидкой ржаной закваски до 15 % при замесе теста для проб с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта.

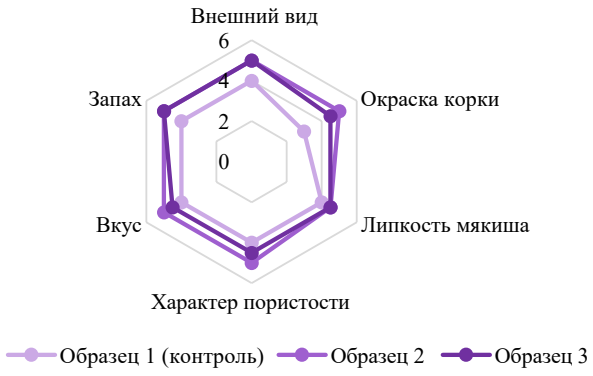


Рисунок 5. Профилограмма хлеба из экспериментальных мучных смесей

Figure 5. Profilogram of bread from experimental flour mixes

Начальная кислотность образцов теста с добавлением продуктов переработки облепихи составляла 4,0–4,5 град., процесс брожения шел интенсивно. Активное молочнокислое и спиртовое брожение сопровождалось накоплением органических кислот и углекислого газа, обеспечивающих выраженный вкус и аромат хлеба, структуру пористости. Стимулирующее действие продуктов облепихи при сниженной дозировке жидкой ржаной закваски подтверждается достижением конечной кислотности 7,5–8,0 град. через 80 мин брожения, что на 10 мин меньше, чем в варианте с контрольным образцом.

Результаты органолептической оценки выпеченных образцов (рис. 5) подтверждают возможность использования облепихового шрота и сухого экст-

ракта облепихи в качестве технологических добавок-подкислителей при условии снижения дозировки жидкой ржаной закваски. Выпеченные образцы отличались правильной формой и коричневой корочкой, имели достаточно разрыхленный, сухой на ощупь и не заминающийся мякиш. Отличительной особенностью образцов с добавлением продуктов переработки облепихи было наличие выраженного оранжево-коричневого цвета мякиша, приятного облепихового привкуса и аромата, что работает на повышение потребительских качеств изделий.

Выводы

Исследование реологических характеристик теста из смеси ржаной и пшеничной муки с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта свидетельствует о снижении водопоглотительной способности, по сравнению с контрольным образцом теста, за счет более низкой способности, чем у белков муки, поглощать воду пищевыми волокнами облепихового шрота и практически отсутствия пищевых волокон в экстракте. Время образования и стабильность теста при введении продуктов переработки облепихи возрастают незначительно.

Максимальная вязкость теста контрольного образца и ее снижение при внесении продуктов переработки облепихи подтверждают необходимость использования ржаных заквасок либо других подкислителей в технологии приготовления теста из смеси ржаной и пшеничной муки. Тесто из экспериментальной смеси ржаной и пшеничной муки с продуктами переработки плодов облепихи обладает высокой вязкостью, зависящей не только от активности амилолитических ферментов и биохимического состава муки, но и от присутствия в тесте ингредиентов с кислой реакцией – облепихового шрота и экстракта. Выявлены низкая стабильность крахмального клейстера экспериментальных мучных смесей и положительное влияние продуктов переработки облепихи на процессы кристаллизации крахмала. Это предполагает снижение эффекта ретроградации крахмала при хранении хлеба.

На основании результатов исследования реологических свойств мучных смесей с добавлением облепихового шрота и сухого облепихового экстракта и качественных характеристик теста установлена возможность сокращения дозировки жидкой ржаной закваски до 15 % и продолжительности брожения теста до достижения кислотности 7,5–8,0 град.

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

The study was conceived, implemented, analyzed, and described by the authors collectively. All the authors read and accepted the final manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Nikulina EO, Ivanova GV, Kolman OYa. Sea-buckthorn meal as the functional ingredient for the creation of the functional purpose products. Bulletin of KSAU. 2015;109(10):98–105. (In Russ.). [Никулина Е. О., Иванова Г. В, Кольман О. Я. Облепиховый шрот как функциональный ингредиент для создания продуктов функционального назначения // Вестник КрасГАУ. 2015. Т. 109. № 10. С. 98–105.]. https://www.elibrary.ru/ULXCWV

2. Nilova LP. Antioxidant properties of bakery products with fruit and berry powders. Bread Products. 2018;(11):48–50. (In Russ.). [Нилова Л. П. Антиоксидантные свойства хлебобулочных изделий с плодово-ягодными порошками // Хлебопродукты. 2018. № 11. С. 48–50.]. https://www.elibrary.ru/SIUGIT

3. Kuzmina SS, Kozubaeva LA, Egorova EYu, Kulushtayeva BM, Smolnikova FKh. Effect of berry extracts on *Saccharomyces cerevisiae* yeast. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(4):819–831. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-819-831

4. Eremeeva NB, Makarova NV, Zhidkova EM, Maximova VP, Lesova EA. Ultrasonic and microwave activation of raspberry extract: antioxidant and anti-carcinogenic properties. Foods and Raw Materials. 2019;7(2):264–273. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-264-273

5. Makarova NV, Eremeeva NB. The influence of extraction technology on the antioxidant activity of extracts of fruits of cranberry, sea buckthorn, blackberry, honeystone, kalina, rowan, and junior. Innovations and Food Safety. 2019;25(3):91–99. (In Russ.). https://doi.org/10.31677/2311-0651-2019-25-3-91-99

6. Dienaite L, Baranauskiene R, Venskutonis PR. Lipophilic extracts isolated from European cranberry bush (*Viburnum opulus*) and sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berry pomace by supercritical CO_2 – Promising bioactive ingredients for foods and nutraceuticals. Food Chemistry. 2021;348. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129047

7. Kukina TP, Shcherbakov DN, Gensh KV, Tulysheva EA, Salnikova OI, Grazhdannikov AE, *et al.* Bioactive components of sea buckthorn *Hippophae rhamnoides* L. Foliage. Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2017;43(7):747–751. https://doi.org/10.1134/S1068162017070093

8. Trineeva OV, Rudaya MA, Slivkin AI. The study of the carotenoid composition of the fruits of sea buckthorn different varie-ties by thin layer chromatography. Chemistry of Plant Raw Material. 2020;(1):223–228. (In Russ.). https://doi.org/10.14258/jcprm.2020016345

9. Farzaliyev EBO, Golubev VN, Tsyganova TB. Research and identification of pectin substances of wild fruits of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). Storage and Processing of Farm Products. 2021;(3):115–125. (In Russ.). https://doi.org/10.36107/spfp.2021.247.

10. Trineeva OV, Slivkin AI. Calcium definition in fruits of *Hippophaes rhamnoides* L. Chemistry of Plant Raw Material. 2015;(1):101–106. (In Russ.). [Тринеева О. В., Сливкин А. И. Определение кальция в плодах облепихи крушиновидной (H*ippophaes rhamnoides* L.) // Химия растительного сырья. 2015. № 1. С. 101–106.]. https://elibrary.ru/UILSRP

11. Olas B, Skalski B, Ulanowska K. The anticancer activity of sea buckthorn [*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson]. Frontiers in Pharmacology. 2018;9. https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00232

12. Dong K, Fernando WMADB, Durham R, Stockmann R, Jayasena V. Nutritional value, health-promoting benefits and food application of sea buckthorn. Food Reviews International. 2021. https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1943429

13. Gani A, Jan R, Ashwar BA, Ashraf Z, Shah A, Gani A. Encapsulation of saffron and sea buckthorn bioactives: Its utilization for development of low glycemic baked product for growing diabetic population of the world. LWT. 2021;142. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111035

14. Gâtlan A-M, Gutt G. Sea buckthorn in plant based diets. An analytical approach of sea buckthorn fruits composition: Nutritional value, applications, and health benefits. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021;18(17). https://doi.org/10.3390/ijerph18178986

15. Roman D, Condurache NN, Aprodu I, Enachi E, Barbu V, Bahrim GE, *et al.* Insights of sea buckthorn extract's encapsulation by coacervation technique. Inventions. 2021;6(3). https://doi.org/10.3390/inventions6030059

16. Wang K, Xu Z, Liao X. Bioactive compounds, health benefits and functional food products of sea buckthorn: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021;62(24):6761–6782. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1905605

17. Kallio H, Yang B, Peippo P. Effects of different origins and harvesting time on vitamin C, tocopherols, and tocotrienols in sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides*) berries. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002;50(21):6136–6142. https://doi.org/10.1021/jf020421v

18. Lele V, Monstaviciute E, Varinauskaite I, Peckaityte G, Paskeviciute L, Plytnikaite M, *et al*. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) and quince (*Cydonia oblonga* L.) juices and their by-products as ingredients showing antimicrobial and antioxidant properties for chewing candy: Nutraceutical formulations. Journal of Food Quality. 2018;2018. https://doi.org/10.1155/2018/3474202

19. Tereshchuk LV, Starovoytova KV, Ivanova SA, Sergeeva IYu. Obtaining functional products from sea buckthorn berries. Advances in Social Science, Education and Humanities Research. 2019;298:407–411. https://doi.org/10.2991/essd-19.2019.90

20. Vilas-Franquesa A, Saldo J, Juan B. Potential of sea buckthorn-based ingredients for the food and feed industry – a review. Food Production, Processing and Nutrition. 2020;2. https://doi.org/10.1186/s43014-020-00032-y

21. Rybicka I, Kiewlicz J, Kowalczewski PŁ, Gliszczyńska-Świgło A. Selected dried fruits as a source of nutrients. European Food Research and Technology. 2021;247:2409–2419. https://doi.org/10.1007/s00217-021-03802-1

22. Averyanova EV. Biological value of sea buckthorn as a basis for its complex non-waste processing. Modern Science and Innovations. 2018;23(3):104–111. (In Russ.). [Аверьянова Е. В. Биологическая ценность облепихи как основа ее комплексной безотходной переработки // Современная наука и инновации. 2018. Т. 23. № 3. С. 104–111.]. https://elibrary.ru/VUTIVX

23. Negi PS, Chauhan AS, Sadia GA, Rohinishree YS, Ramteke RS. Antioxidant and antibacterial activities of various seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seed extracts. Food Chemistry. 2005;92(1):119–124. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.009

24. Lapteva N, Kazenina V, Petrova A. Determination of biologically active substances in supercritical carbon dioxide sea buckthorn extract. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;640. https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022079

25. Koneva SI, Egorova EYu, Kozubaeva LA, Reznichenko IYu. The effect of flaxseed flour on the rheological properties of dough made of flaxseed and wheat flour and bread quality. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(1):85–96. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-85-96

26. Koneva SI, Melyoshkina LE. The influence of sea buckthorn meal on the carbohydrate-amylase complex of the dough and quality indicators of the bread made from the mixture of rye and wheat flour. Bulletin of KSAU. 2020;164(11):190–196. (In Russ.). https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-190-196

27. Callejo MJ, Bujeda C, Rodríguez G, Chaya C. Alveoconsistograph evaluation of rheological properties of rye doughs. Spanish Journal of Agricultural Research. 2009;7(3):638–644. https://doi.org/10.5424/sjar/2009073-448

28. Boltenko YuA. Rheological criteria for controlling the properties of wheat dough and the quality of bakery products. Cand. eng. sci. diss. Moscow: Moscow State University of Food Production; 2010. 177 p. (In Russ.). [Болтенко Ю. А. Разработка реологических критериев управления свойствами пшеничного теста и качеством хлебобулочных изделий: дис. … канд. техн. наук: 05.18.01. М., 2010. 177 с.].

29. Hřivna L, Zigmundová V, Burešová I, Maco R, Vyhnánek T, Trojan V. Rheological properties of dough and baking quality of products using coloured wheat. Plant, Soil and Environment. 2018;64(5):203–208. https://doi.org/10.17221/62/2018-PSE

30. Kulevatova TB, Adreeva LV, Tugush AR, Sadygova MK. Features of rheological properties of rye dough flour and mixtures based on it. Storage and Processing of Farm Products. 2019;(4):118–128. (In Russ.). https://doi.org/10.36107/spfp.2019.185

31. Naumenko N, Potoroko I, Kalinina I, Fatkullin R, Ivanisova E. The influence of the use of whole grain flour from sprouted wheat grain on the rheological and microstructural properties of dough and bread. International Journal of Food Science. 2021;2021. https://doi.org/10.1155/2021/7548759

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2430
https://elibrary.ru/SDZLSC

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Изменение физико-химических и органолептических характеристик яблочного пюре при повышенных температурах хранения

А. И. Сергеев[1,*], И. Г. Калинина[1], Н. Г. Шилкина[1], И. И. Барашкова[1], М. А. Градова[1], М. В. Мотякин[1,2], В. Б. Иванов[1]

[1] *Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семенова Российской академии наук, Москва, Россия*

[2] *Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля Российской академии наук, Москва, Россия*

Поступила в редакцию: 15.11.2022
Принята после рецензирования: 13.12.2022
Принята к публикации: 10.01.2023

**А. И. Сергеев: nismpa@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0002-5982-3162
И. Г. Калинина: https://orcid.org/0000-0003-4615-6185
Н. Г. Шилкина: https://orcid.org/0000-0002-9825-947X
И. И. Барашкова: https://orcid.org/0000-0002-7781-3662
М. А. Градова: https://orcid.org/0000-0001-9226-3032
М. В. Мотякин: https://orcid.org/0000-0001-8040-7844
В. Б. Иванов: https://orcid.org/0000-0002-4647-6296

© А. И. Сергеев, И. Г. Калинина, Н. Г. Шилкина, И. И. Барашкова, М. А. Градова, М. В. Мотякин, В. Б. Иванов, 2023

Аннотация.
Изменение качества пищевых продуктов в процессе хранения обусловлено не только многофакторным воздействием окружающей среды, но и сложным составом продуктов. Разработка методов контроля этих изменений является важной задачей. Цель работы – изучить изменение физико-химических характеристик яблочного пюре при хранении при повышенных температурах (40–60 °С), определить масштабы этих изменений, выявить наиболее значимые изменяющиеся параметры и сравнить их с изменением органолептических свойств пюре.
Объектом исследования служило гомогенизированное пюре из яблок в упаковке из комбинированного материала. Термическую обработку проводили при 40, 50 и 60 °С. Определение цветометрических характеристик осуществляли в режиме: 45°/0°, источник света D65. Исследования времени протонной релаксации и измерение коэффициента диффузии воды (метод импульсного градиента) проводили на частоте 20 МГц. Анализ молекулярной динамики выполнен методом электронного парамагнитного резонанса спиновых зондов. При изучении содержания некристаллизирующейся воды методом дифференциальной сканирующей калориметрии охлаждение образцов осуществляли до –70 °С.
Установлено, что изменение цветового различия яблочного пюре при хранении происходит с постоянной скоростью в соответствии с кинетическим уравнением реакции нулевого порядка и энергией активации 92 кДж/моль. Выявлена корреляция изменений цвета, параметров протонной релаксации и органолептических характеристик при выдерживании образцов при 50 и 60 °С. Характер и масштабы изменения времени магнитной релаксации, коэффициента диффузии воды и содержания некристаллизующейся воды, а также результаты оптической микроскопии свидетельствуют о том, что основные изменения физической структуры пюре при термической обработке обусловлены агрегацией фрагментов клеток яблока.
Длительное выдерживание яблочного пюре при температурах 40–60 °С приводит к изменениям цвета, релаксационных характеристик протонов воды и количества некристаллизующейся при –70 °С воды, а также размеров агрегатов фрагментов клеток яблока. Соответствие значений энергий активации, определяемых методами цветометрии и протонной релаксации, указывают на общность процессов, ответственных за образование окрашенных структур и изменение состояния воды при термообработке пюре. Полученные результаты свидетельствуют о возможности и целесообразности использования данных физико-химических характеристик для количественной оценки изменения свойств яблочного пюре при термическом воздействии.

Ключевые слова. Пищевые продукты, хранение, качество, цветометрия, протонная релаксация, диффузометрия, дифференциальная сканирующая калориметрия, электронный парамагнитный резонанс

Финансирование. Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований РФ.

Для цитирования: Изменение физико-химических и органолептических характеристик яблочного пюре при повышенных температурах хранения / А. И. Сергеев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 259–271. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2430

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2430
https://elibrary.ru/SDZLSC

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Effect of Elevated Storage Temperatures on the Physicochemical and Sensory Properties of Apple Puree

Andrey I. Sergeev[1,*], Irina G. Kalinina[1], Natalia G. Shilkina[1], Irina I. Barashkova[1], Margaret A. Gradova[1], Mikhail V. Motyakin[1,2], Victor B. Ivanov[1]

[1] *N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[2] *Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Received: 15.11.2022
Revised: 13.12.2022
Accepted: 10.01.2023

**Andrey I. Sergeev: nismpa@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5982-3162*
Irina G. Kalinina: https://orcid.org/0000-0003-4615-6185
Natalia G. Shilkina: https://orcid.org/0000-0002-9825-947X
Irina I. Barashkova: https://orcid.org/0000-0002-7781-3662
Margaret A. Gradova: https://orcid.org/0000-0001-9226-3032
Mikhail V. Motyakin: https://orcid.org/0000-0001-8040-7844
Victor B. Ivanov: https://orcid.org/0000-0002-4647-6296

© A.I. Sergeev, I.G. Kalinina, N.G. Shilkina, I.I. Barashkova, M.A. Gradova, M.V. Motyakin, V.B. Ivanov, 2023

Abstract.
Food products change their quality during storage not only under the external impact, but also because they are complex in composition. As a result, food scientists look for new methods to control these internal changes. The research objective was to describe the changes in the physicochemical properties of apple puree during storage at elevated temperatures (40–60°C) and link them with the changes in the sensory profile.

The study featured homogenized apple puree packaged in composite material and heated up to 40, 50, and 60°C. The colorimetric studies were conducted at 45°/0°, light source D65. The proton relaxation time and the water diffusion coefficient (impulse gradient method) were studied at a frequency of 20 MHz. The analysis of molecular dynamics involved the method of electron paramagnetic resonance of spin probes. The samples were cooled down to –70°C to measure the content of non-crystallizing water by the method of differential scanning calorimetry.

The color change rate was constant and followed the zero-order kinetic reaction equation with an activation energy of 92 kJ/mol. The changes in color, proton relaxation, and sensory properties correlated when the samples were stored at 50 and 60°C. The analysis of the magnetic relaxation time, the diffusion coefficient of water, and the content of non-crystallizing water indicated that the main changes in the physical structure of the puree during heat treatment occurred as a result of the aggregation of apple cell fragments. These findings were confirmed by the optical microscopy.

A prolonged exposure to 40–60°C affected the color, the relaxation of water protons, and the size of aggregates of apple cell fragments. It also affected the amount of water that did not crystallize at –70°C. The correspondence between the values of the activation energies was determined by the methods of colorimetry and proton relaxation. Therefore, the coloration and the water changes depended on the same processes. These physical and chemical properties can be used for quantitative assessment of apple puree under thermal treatment.

Keywords. Food products, storage, quality, colorimetry, proton relaxation, diffusometry, differential scanning calorimetry, electron paramagnetic resonance

Funding. The research was part of the program of Fundamental Scientific Research of the Russian Federation.

For citation: Sergeev AI, Kalinina IG, Shilkina NG, Barashkova II, Gradova MA, Motyakin MV, *et al.* Effect of Elevated Storage Temperatures on the Physicochemical and Sensory Properties of Apple Puree. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):259–271. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2430

Введение

Разработка объективных физико-химических методов оценки изменения качества пищевых продуктов в процессе хранения является важной научно-технической задачей. Сложность этой проблемы обусловлена не только многофакторным воздействием окружающей среды, но и сложным составом продуктов. Кроме того, метод оценки

должен быть простым и точным, а также обеспеченным необходимым оборудованием.

Для яблок и продуктов на их основе, учитывая свойство быстрого потемнения поверхностного слоя яблок в области разреза, одним из очевидных методов является цветометрия. В работе [1] показано, что при хранении нарезанных яблок при 4 °С в темноте в условиях доступа воздуха изменение цвета, оцениваемое по изменению цветового различия ΔE, является критической характеристикой. Срок хранения яблок в этих условиях не превышает 3 суток. Однако при хранении нарезанных яблок при –5 °С изменение цвета было незначительно даже через 10 суток [2]. Эти результаты были получены для одного сорта яблок – Fuji. Детальный анализ кинетики изменения цветовых характеристик при хранении продуктов из яблок, выполненный в работах [3, 4], свидетельствует о сложном характере процессов, приводящих к изменению цвета. Это проявляется в отличиях значений энергий активации цветовых изменений (от 52,1 до 80,8 кДж/моль), определяемых для яблочного сока различными авторами при использовании разных методов анализа и кинетических моделей.

Изменение цветовых характеристик яблочного пюре при термообработке при высоких температурах (80–90 °С) имеет сложный характер. Некоторые цветовые характеристики (цветовое различие ΔE, координата a^*, характеризующая интенсивность красной компоненты цвета, и поглощение при 420 нм) изменяются в соответствии с кинетическим уравнением реакции нулевого порядка, в то время как другие (светлота L^* и координата b^*, характеризующая интенсивность желтой компоненты цвета) – первого порядка. Энергии активации реакции окисления фенольных соединений, ответственные за появление коричневого пигмента, оцениваемые по изменению разных цветовых характеристик, различаются (от 51,9 до 111,5 кДж/моль) [3, 4]. Аналогичные зависимости обнаружены при исследовании пюре для детского питания, состоящего из смеси пюре из яблок (80 %) и малины (20 %) [5]. Резкое изменение механизма процесса при 90 °С, о котором свидетельствует изменение знака для Δb^* при этой температуре, и незначительное изменение ΔE при других температурах ($\Delta E \leq 2$) не позволили с достаточной точностью определить значение энергии активации для этого продукта (~ 47,0 ± 15,6 кДж/моль) [5].

Рассмотренные примеры показывают, что кинетические закономерности и особенности изменения цвета зависят от условий подготовки образцов, температуры (диапазона температур) испытания или хранения продукта, а также от его состава. Также значение имеет упаковка.

Изменения цвета, обусловленные образованием и расходованием поглощающих в видимой области спектра веществ, свидетельствуют о протекании в продуктах на основе яблок сложных физико-химических процессов, одной из важнейших характеристик которых является состояние воды в продукте. Для исследования кинетики и масштаба изменения содержания и состояния воды в различных продуктах растительного и животного происхождения используют дифференциальную сканирующую колориметрию (ДСК), оптические и спектрометрические методы [6]. Одним из наиболее информативных является метод ЯМР релаксации, позволяющий изучать подвижность атомов водорода воды, измеряя их времена спин-решеточной (T_1) и спин-спиновой (T_2) релаксаций [6, 7].

В отличие от более ранних работ недавно было показана возможность исследования суб- и межклеточной диффузии и мембранной проницаемости при анализе спин-спиновой релаксации (T_2) при термическом воздействии на микроструктуру яблочных образцов [8]. Выявлено изменение T_2 при температуре 53 °С, при которой резко уменьшалась твердость паренхимы яблока. Эти результаты показывают, что релаксационные параметры, наряду с изменением цвета, могут отражать структурные и биохимические изменения в паренхиме яблока.

Оценивая качество сохранности яблок методами протонной магнитной релаксации, авторы работы [9] пришли к выводу о перспективности использования магнитно-релаксационных параметров при оценке поражения плодов. Эта концепция была реализована при создании ЯМР датчика, определяющего испорченные плоды на конвеере (12 % точности при скорости конвеера 50 мм/с) [10].

Авторы работы [11], изучая времена релаксации протонов воды в клеточной структуре яблока в зависимости от времени τ между импульсами в последовательности Карра-Перселла-Мейбума-Гилла (КПМГ), наблюдали две фракции протонов (для $\tau > 50$ мкс). Наличие двух фракций объяснялось химическим и диффузионным обменом между водосодержащими структурами паренхимы яблочных клеток. Подвергнутые регидрированию (до 85 % и выше) клетки и клеточные мембраны яблок характеризовались одним временем релаксации.

Структурные изменения в биологических системах можно оценить с помощью анализа диффузионных процессов. Коэффициент диффузии (D) в таких структурах имеет значение близкое к значению D в чистой воде при малых временах измерения диффузии, а также уменьшается с увеличением времени измерения до значений, определяемых проницаемостью мембран [12]. Зная время неограниченной диффузии, можно оценить размеры отсеков биологических структур и степень их изменений. Диффузионные и релаксационные параметры, полученные методом импульсного градиента, позволили авторам работы [13] при

изучении паренхимы яблока оценить размеры клеток, внутриклеточную диффузию и диффузионную проницаемость тонопласта.

Другой характеристикой энергии межмолекулярного взаимодействия в биологических системах может служить количество некристаллизующейся при отрицательных температурах воды. Ее изменения могут отражать изменения структуры как клеток в целом, так и их частей. Перспективность такого рода исследований показана в работе [14] при оценке действия импульсного электрического поля на структуру и диффузионную проницаемость воды между клеточными структурами яблока.

Широкий набор методик ЭПР применялся при исследовании биохимических аспектов структуры яблок и продуктов из них: изучение антиокислительной активности с помощью различных спиновых ловушек, использование спиновых меток (т. е. радикалов, химически связанных с объектом исследования) для изучения подвижности полисахаридных цепей в стенках клеток яблок и измерение парамагнитных сигналов при гамма-облучении различных фруктов [15–18]. Спектроскопия спиновых зондов широко используется для исследования сложных гетерогенных систем [19–21]. Магнитно-резонансные параметры ЭПР спектров спиновых зондов предоставляют информацию о молекулярной организации изучаемой системы, ее локальной подвижности и полярности, которая отражает состояние локальных магнитных и электрических полей.

Таким образом, имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о возможности и перспективности применения физико-химических методов для количественной оценки изменений продукта при хранении и оценки состояния воды в них. Цель данной работы – изучить изменение физико-химических характеристик яблочного пюре при хранении при повышенных температурах (40–60 °С), определить масштабы этих изменений, выявить наиболее значимые изменяющиеся параметры и сравнить их с изменением органолептических свойств пюре. Работа направлена на оценку возможности и целесообразности использования получаемых в таких ускоренных испытаниях данных для прогнозирования изменения качества продукта.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования служило стерильное и гомогенизированное пюре из яблок для питания детей раннего возраста от 4-х месяцев в упаковке дой-пак из комбинированного материала; масса нетто 90 г (ТУ 10.86.10-007-48450600-2016).

Термическую обработку проводили при температуре 40, 50 или 60 °С в условиях принудительной вентиляции в низкотемпературной печи СНОЛ-3.9.3.9.3.6/3.5-2Н (Республика Беларусь). Выбор диапазона температур обусловлен необходимостью обеспечить высокую скорость изменения характеристик в условиях, максимально приближенных к обычным условиям хранения продукта.

Определение цветометрических характеристик и спектров отражения в области 400–700 нм осуществляли с помощью спектрофотометра ColorFlex (HunterLab, США) в режиме: угол освещения 45°, анализ отражения под углом 0° к поверхности, угол наблюдения 10°, источник света D65. Используемое в качестве основного критерия значение цветового различия ΔE в системе CIELab-76 определяли по уравнению (1):

$$\Delta E = [\left(\Delta L^*\right)^2 + \left(\Delta a^*\right)^2 + \left(\Delta b^*\right)^2]^{1/2} \qquad (1)$$

где $\Delta L^* = L_0^* - L_i^*$, $\Delta a^* = a_0^* - a_i^*$, $\Delta b^* = b_0^* - b_i^*$. Индекс 0 относится к образцу до испытаний, а индекс i – к образцу после определенного периода испытаний. Значения L^*, a^* и b^* (в системе CIELab-76 величина L^* определяет яркость, параметр a^*, в зависимости от знака, – интенсивность красного (+) и зеленого (–) цветов, b^* – желтого (+) и синего (–) цветов) устанавливали в результате измерений с использованием программного обеспечения спектрофотометра ColorFlex. Измерения цвета при каждой температуре и каждом конкретном времени хранения проводили для 3 индивидуальных образцов. Затем рассчитывали средние значения, которые использовали при анализе кинетики процессов. Органолептические свойства (внешний вид, консистенцию, цвет, вкус и запах) оценивали в соответствии с рекомендациями МУК 4.2.1847-04. Относительную концентрацию ионов водорода в пюре до и после термообработки определяли с помощью pH-метра Kelilong PH-221.

Исследования протонной релаксации проводили на приборе МиниспекРС-120 (Брукер, Германия) на частоте 20 МГц. Время спин-решеточной релаксации (T_1) измеряли с помощью импульсной последовательности 180°–90° при следующих условиях: длительность 90° импульса 2,3 мкс, количество точек на кривой 20, задержка между сканами 4–10 с. Время спин-спиновой релаксации (T_2) протонов определяли с использованием импульсной последовательности Карра-Парселла-Мейбума-Гилла (КПМГ) при следующих условиях: длительность 90° импульса 2,3 мкс, время между 90° и 180° импульсами 150 мкс, количество точек на кривой спада 1500, накопление 9 сканов, задержка между сканами 4–10 с. Полученные кривые изменения намагниченности анализировали с помощью программы дискретного многоэкспоненциального разложения MULTIT1a и MULTIT2a (Брукер) или программы ORIGIN 9. Каждый образец измерялся 5 раз. Результаты представлены в виде среднего значения и среднеквадратичного отклонения. Относительная ошибка релаксационных измерений не превышала 6 %.

Коэффициент диффузии D протонов определяли на приборе МиниспекРС-120 (Брукер, Германия) с установкой импульсного градиента с двуимпульсной последовательностью [22]. Значения D получали из зависимости относительной амплитуды спинового эха от параметров импульсного градиента магнитного поля:

$$ln(A_n / A_0) = -\gamma^2 g^2 \delta^2 (\Delta - \delta / 3) D \quad (2)$$

где A_n и A_0 амплитуды эха с и без импульсного градиента; γ – гиромагнитное отношение для протона ($26{,}75\times10^7$ град. $Тл^{-1}с^{-1}$); g и δ (500 мкс) – амплитуда и длительность импульсного градиента; Δ – время между импульсными градиентами (время диффузии); D – коэффициент диффузии. Диапазон изменения g составил 0,1–2,5 $Тл/м^{-1}$. Изменяющимися величинами являлись Δ и g. Градуировку значений импульсного градиента g проводили с использованием коэффициента диффузии воды при 25 °С ($D = 2{,}3\times10^{-9}$ $м^2/с$). Различное содержание влаги в образце при диффузионных исследованиях достигалось вакуумированием (~ 10^{-3} мм ртутного столба).

Для ДСК измерений использовался калориметр марки DSC204FPhoenix (Германия) с программным обеспечением Proteus. Температурная калибровка производилась по индию (156,6 °С) и ртути (−38,8 °С). В эксперименте охлаждение образцов проводилось со скоростью 10 °С в минуту: от 20 до −70 °С, нагревание со скоростью 5 °С: от −70 до 20 °С. Масса незамерзающей воды определялась из соотношения:

$$W_{unf} = W_0 - W_{fr} \quad (3)$$

где W_0 – масса воды в образце, определяемая высушиванием в течение суток при 104 °С; W_{fr} – масса замерзшей воды, определяемая из эндотермического пика плавления льда с учетом удельной теплоты плавления льда $H_0 = 333{,}8$ Дж/г.

В качестве спиновых зондов при ЭПР исследованиях в работе использовали стабильные нитроксильные радикалы: 2,2,6,6-тетраметил-пиперидин-1-оксил (ТЕМПО) и 16-доксилстеариновую кислоту (16DSA), химические структуры которых представлены в таблице 1 (Sigma-Aldrich, США). Необходимое количество ТЕМПО помещали в исследуемый образец. 16DSA сначала растворяли в этаноле, а затем отбирали необходимое количество раствора, испаряли растворитель, и в колбу с оставшимся радикалом добавляли яблочное пюре. Образцы перемешивали на магнитной мешалке при комнатной температуре до тех пор, пока в спектрах ЭПР переставал проявляться широкий синглет от нерастворенных радикалов. Время перемешивания составляло около 3 ч для ТЕМПО и примерно 20 ч для 16DSA. Концентрация радикалов в образцах не превышала 2×10^{-5} М. Спектры ЭПР X-диапазона регистрировали на спектрометре BrukerEMX (Германия). Образец помещался в резонатор спектрометра в стеклянном капилляре диаметром 0,9 мм. Микроволновая мощность была не более 2 мВт, чтобы избежать эффектов насыщения. При записи спектров амплитуда модуляции 100 кГц не превышала значения 0,7 Гс. Для определения магнитно-резонансных параметров ЭПР сигналов использовали программы WINEPR и SIMFONIA (Bruker).

Время корреляции вращения (τ_c) зондов определяли по формуле

$$\tau_c = 6{,}65\times10^{-10} \Delta H^+ \left(\sqrt{I^+ / I^-} - 1 \right) \quad (4)$$

где ΔH^+– ширина низкопольной компоненты спектра; I^+/I^- – отношение интенсивностей низкопольной и высокопольной компонент соответственно. Изотропные константы СТВ a^N определяли из спектров ЭПР радикалов.

Оптические микрофотографии в просвечивающем режиме были получены с использованием бинокулярного оптического микроскопа BS-702B, оснащенного цифровой USB-камерой UCMOS08000KPB на базе КМОП-сенсора формата 1/2,5 дюйма с разрешением 3264×2448 пикселей с программным обеспечением AltamiStudio.

Результаты и их обсуждение

При выдерживании образцов при повышенных температурах наблюдается изменение цвета, количественно характеризующееся уменьшением коэффициента отражения во всей видимой области спектра, наиболее сильно выраженное в области 550–650 нм. Чем выше температура и больше продолжительность испытаний, тем сильнее выражено это изменение.

Для кинетического анализа в качестве количественной характеристики удобнее использовать цветовое различие ΔE, чем цвет образца, определяемое по формуле 1. Величина ΔE прямо пропорциональна времени испытания t (рис. 1). Наклон прямой в координатах $\Delta E - t$ соответствует скорости изменения цвета, причем величина скорости определяется надежно и точно (коэффициенты корреляции R^2 для прямых при 40, 50 и 60 °С составляют 0,978, 0,980 и 0,985 соответственно). Также наблюдается закономерность: чем выше температура, тем больше значение скорости.

Зависимость скорости увеличения ΔE от температуры описывается уравнением Аррениуса (рис. 2), представляемого в полулогарифмических координатах в виде линейной зависимости (5):

$$ln[d(\Delta E) / dt] = A - E_a / R \quad (5)$$

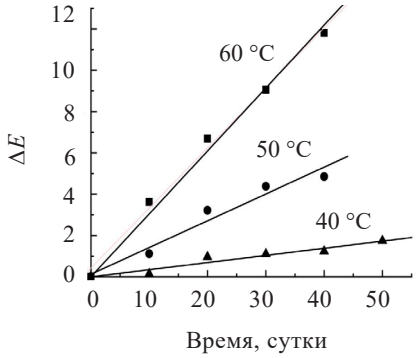


Рисунок 1. Увеличения цветового различия при выдерживании образцов пюре при температуре 40, 50 и 60 °C

Figure 1. Color changes in puree samples at 40, 50, and 60°C

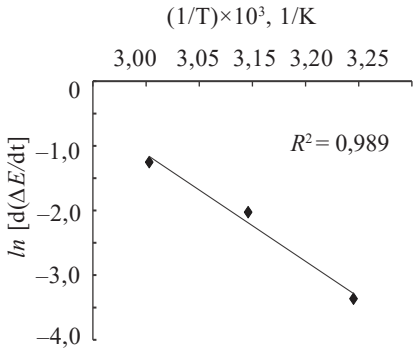


Рисунок 2. Зависимость логарифма скорости увеличения цветового различия от температуры

Figure 2. Effect of temperature on the logarithm of the rate of increase in color difference

где E_a – энергия активации процесса; A – коэффициент; R – универсальная газовая постоянная.

Энергия активации процесса E_a составляет 92 кДж/моль. Используя это значение, можно рассчитать коэффициент ускорения (или замедления, при переходе к более низким температурам) k_a при увеличении температуры от 20 до 40 °C по уравнению (6):

$$lnk_a = E_a[(T_2 - T_1)/(RT_2T_1)] \quad (6)$$

где T_1 (293 K) – температура хранения (20 °C); T_2 (313 K) – температура испытания (40 °C). В результате коэффициент ускорения составил 11 (минимальная оценка). Следовательно, изменение цвета при 20 °C должно происходить в 11 раз медленнее, чем при 40 °C. Рассчитываемая (прогнозная) величина цветового различия ΔE при хранении образцов пюре в течение года при 18–22 °C в этом случае не превышает 1,1. Это значение является минимальным. Его может визуально оценить только квалифицированный специалист и только при одновременном сравнении с контрольным образцом при определенных условиях освещения.

Данные, полученные методом количественной цветометрии, соответствуют качественным изменениям органолептических характеристик, оцениваемых одновременно с изменением цвета через определенные периоды термообработки (табл. 1 и 2).

В таблицах 1 и 2 приведены результаты органолептической оценки качества пюре после тепловой обработки при 50 и 60 °C. Длительность тепловой обработки соответствует временным интервалам. Затем определяли цветометрические характеристики пюре (точки на рисунке 1 для прямых при 50 и 60 °C). Наблюдается соответствие данных рисунка 1 и таблиц 1 и 2: чем выше температура и больше длительность испытаний, тем сильнее выражены изменения. С данными рисунка 1 хорошо коррелируют результаты визуальной оценки цвета, а также появление выраженного горького привкуса пюре. При 40 °C изменение цвета и ухудшение органолептических свойств выражены незначительно, что подтверждает наличие корреляции между этими характеристиками.

Для лучшего понимания процессов, протекающих в пюре при повышенных температурах, проведена оценка содержания кислот после теплового воздействия (рис. 3). Как следует из полученных данных, определяемое с помощью стеклянного электрода значение pH пюре практически не меняется. Наблюдающееся небольшое снижение pH не связано с температурой и не превышает неопределенность измерений, обусловленную варьированием значений pH образцов до проведения испытаний.

Данные рисунка 3 позволяют исключить протекание в пюре микробиологических процессов и окисление компонентов пюре кислородом воздуха. Это свидетельствует о герметичности упаковки, сохраняющейся даже после длительных испытаний при повышенных температурах.

Информация о процессах, протекающих при термическом воздействии на пюре, получена при анализе состояния воды, оцениваемого по времени спин-решеточной (T_1) и спин-спиновой (T_2) релаксаций. Эти величины зависят от вращательной и трансляционной подвижности молекул воды и служат характеристикой ее мобильности как в свободном, так и в связанном состоянии. Их одновременное увеличение характеризует повышение подвижности молекул воды. Как видно из рисунков 4 и 5, на начальных этапах термообработки T_1 и T_2 растут со временем. Масштаб этого изменения при 60 °C больше, чем при 50 °C. После продолжительного теплового воздействия значения T_1 и T_2, достигнув определенного уровня, практически перестают изменяться. Однако чем выше температура обработки, тем больше стационарные значения. Оцениваемая

Таблица 1. Изменение органолептических свойств при выдерживании образцов при 50 °С

Table 1. Sensory properties at 50°C

Органолептическое свойство	Время выдержки при температуре 50 °С, сутки			
	10	20	30	40
Внешний вид	Однородная масса без комков и посторонних включений	Однородная масса без комков и посторонних включений	Однородная масса без комков и посторонних включений	Однородная масса без комков и посторонних включений
Цвет	Тертого яблока, без изменений	Темнее, 4 балла	Темнее, 3–4 балла	Темнее, 3 балла
Вкус	Яблочный, сладкий	Яблочный, менее сладкий	С неприятным привкусом и горчинкой	С неприятным привкусом, горьковатый и с выраженной кислинкой
Запах	Яблочный	Яблочный	Яблочный	Яблочный, горьковатый
Консистенция	Соответствует первоначальной	Соответствует первоначальной	Более жидкая	Более жидкая

Таблица 2. Изменение органолептических свойств при выдерживании образцов при 60 °С

Table 2. Sensory properties at 60°C

Органолептическое свойство	Время выдержки при температуре 60 °С, сутки			
	10	20	30	40
Внешний вид	Однородная масса без комков и посторонних включений	Однородная масса без комков и посторонних включений	Однородная масса без комков и посторонних включений	Однородная масса без комков и посторонних включений
Цвет	Темнее, 4 балла	Темнее, 3–4 балла	Темнее, 3 балла	Темнее, 2–3 балла
Вкус	Яблочный, сладкий	Яблочный, менее сладкий, кисловатый	С неприятным привкусом, горьковатый	С неприятным привкусом, горький и с выраженной кислинкой
Запах	Яблочный	Яблочный	Яблочный	Яблочный, горьковатый
Консистенция	Соответствует первоначальной	Более жидкая	Более жидкая	Более жидкая

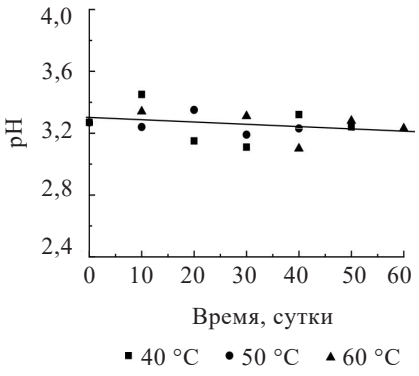


Рисунок 3. Относительное содержание кислот в образцах пюре, выдержанных различное время при температуре 40, 50 и 60 °С

Figure 3. Relative acid content at 40, 50, and 60°C

по изменению T_1 энергия активации процесса составляет ~ 82 кДж/моль, а по изменению T_2 на начальных стадиях ~ 94 кДж/моль. Учитывая относительно большую неопределенность этих оценок, обусловленную большой дисперсией значений T_1 и T_2, рассчитываемые таким образом величины энергии активации можно рассматривать лишь как качественные характеристики, а не количественные. Учитывая близость этих оценок к величине энергии активации, определяемой методом количественной цветометрии, можно полагать, что изменение цвета и возрастание T_1 и T_2 обусловлены одними и теми же процессами, протекающими при выдерживании образцов пюре при повышенных температурах.

Содержание воды в яблочном пюре составило 85,0 ± 0,7 масс.% (среднее значение из 21 измерений). В отличие от работы [12] по протонной релаксации в яблоках в исследуемых образцах пюре было обнаружено, что T_1 и T_2 имеют не многокомпонентный, а однокомпонентный характер. Это говорит о быстром обмене между областью свободной воды и воды, связанной с неводными фракциями. Взаимодействие между этими фракциями объясняет пониженные значения времен релаксации в сравнении с их значением для свободной воды (T_1, T_2 ~ 2–3 с). Изменение этого взаимодействия может быть обусловлено разрушением клеточных структур яблока при приготовлении пюре и его стерилизации. Как

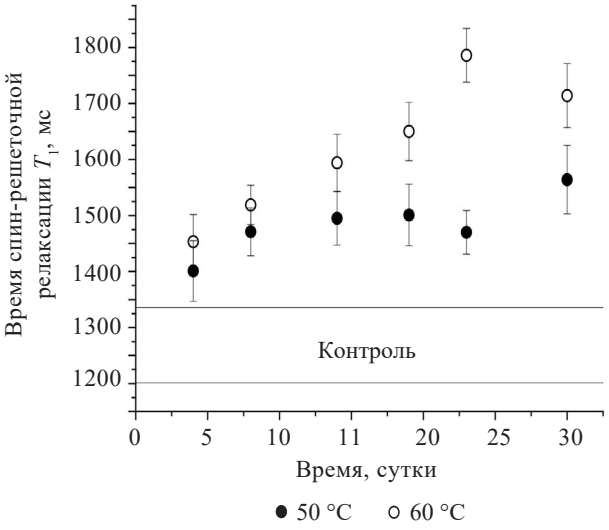


Рисунок 4. Изменение времени спин-решеточной релаксации (T_1) при термообработке пюре при 50 и 60 °C

Figure 4. Spin-lattice relaxation time (T_1) at 50 and 60°C

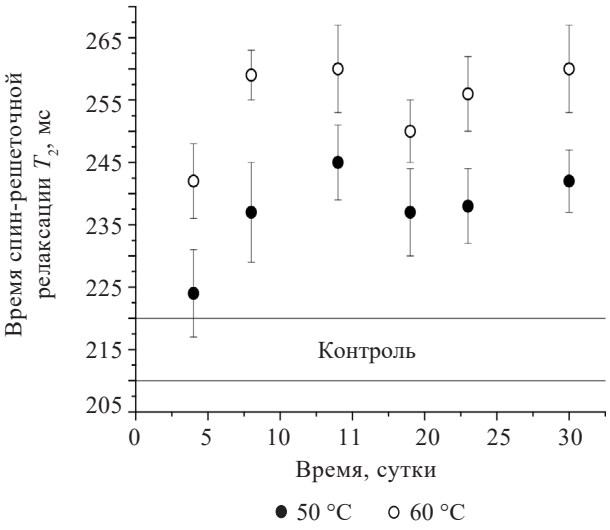
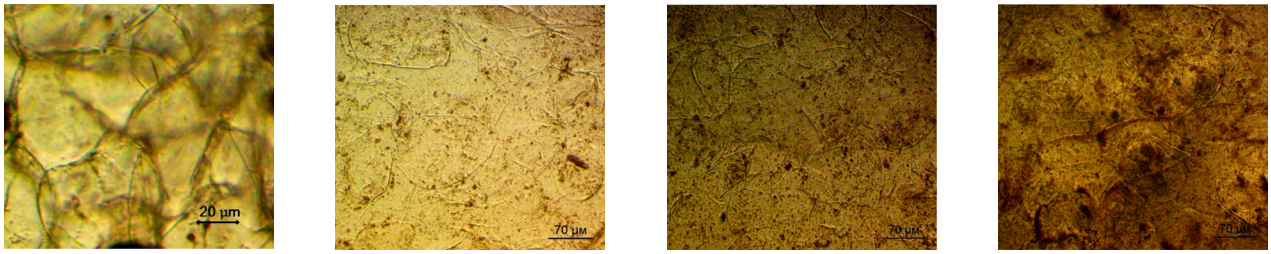


Рисунок 5. Изменение времени спин-спиновой релаксации (T_2) при термообработке пюре при 50 и 60 °C

Figure 5. Spin-spin relaxation time (T_2) at 50 and 60°C



a – Яблоко цельное b – Пюре контроль c – Пюре, 30 сутки, 50 °C d – Пюре, 30 сутки, 60 °C

Рисунок 6. Микроскопия образцов яблока и яблочного пюре при термообработке

Figure 6. Microscopy of apple and apple puree samples during heat treatment

следует из анализа образцов пюре методом оптической микроскопии (рис. 6), в них отсутствует четкая клеточная структура, характерная для яблок (рис. 6a), но имеются лишь фрагменты клеток и их агломераты (рис. 6b). Термообработка при 50 °C приводит к дополнительному разрушению фрагментов клеток и клеточных оболочек, а также к образованию агломератов (рис. 6c).

Это явление еще более выражено при 60 °C. В последнем случае наблюдается образование более крупных агломератов, окрашенных в коричневый цвет (рис. 6d). С этим процессом связано изменение цвета пюре при термообработке.

Разрушение фрагментов клеток и клеточных оболочек и образование агломератов должно приводить к уменьшению макроскопической вязкости, отмеченному в таблицах 1 и 2.

Эти процессы должны также приводить к снижению микроскопической вязкости, что должно проявляться в увеличении коэффициента диффузии воды. Подтверждение этого предположения получено при измерении коэффициента диффузии воды методом градиента магнитного поля (рис. 7).

Как видно из рисунка 7, коэффициент диффузии при термообработке возрастает, и чем выше температура, тем больше наблюдаемый эффект. Как показали измерения D от времени диффузии Δ, коэффициент диффузии остается приблизительно постоянным при варьировании Δ в широких пределах. Поэтому можно говорить о неограниченном характере диффузии в образцах пюре после термообработки. Величина измеряемого коэффициента становится близка к коэффициенту диффузии в свободной воде ($2{,}3\times10^{-9}$ м^2/с).

Изучение коэффициента диффузии D в образцах яблока показало его зависимость от таких факторов, как pH, количество растворимых и нерастворимых в воде веществ и температура [23, 24]. Как

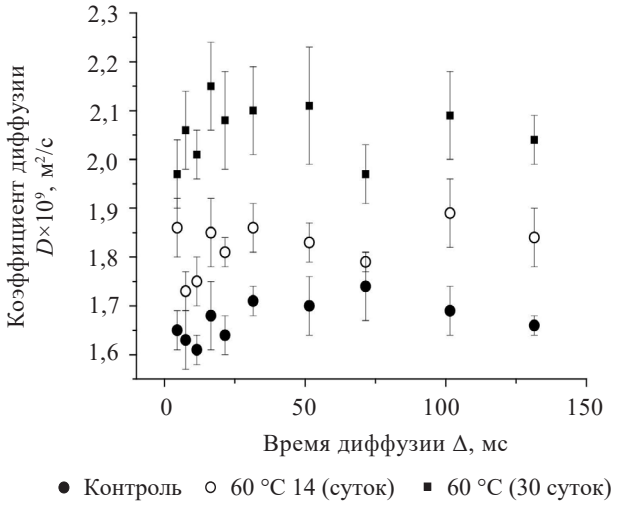


Рисунок 7. Коэффициенты диффузии воды в пюре до термической обработки и после прогрева при 60 °C в течение 14 и 30 суток

Figure 7. Water diffusion coefficients before and after heat treatment at 60°C for 14 and 30 days

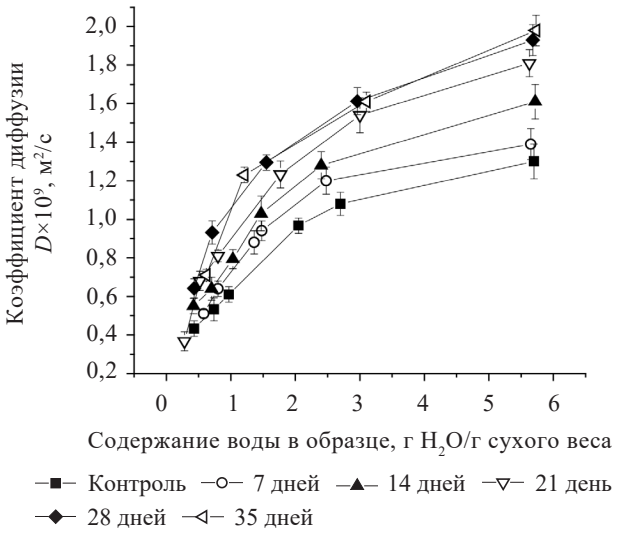


Рисунок 8. Изменение коэффициента диффузии воды в яблочном пюре, в зависимости от влагосодержания, для образцов, подвергнутых тепловому воздействию в 60 °C. Линии имеют ориентировочный характер

Figure 8. Water diffusion coefficient vs. moisture content at 60°C

видно из рисунка 3, значение pH постоянно. Влияние этого фактора на диффузионные процессы можно исключить.

Измерение *D*, в зависимости от содержания воды в образце, может отражать степень взаимодействия молекул воды с растворенными сахарами, полисахаридами клеточных мембран и другими неводными фракциями. Изучение изменения коэффициента диффузии воды в яблочном пюре, в зависимости от влагосодержания, для образцов, подвергнутых тепловому воздействию в 60 °C, представлено на рисунке 8. Температурное воздействие вызывает статистически достоверное различие в значениях *D* до содержания воды в образце 1 г H_2O/г сухого веса. Как показали исследования протонной магнитной релаксации и изотермы сорбции различных полисахаридов, количество воды в монослое на поверхности взаимодействия вода – полисахарид лежит в пределах 0,1–0,3 г H_2O/г сухого веса [25, 26]. Взаимодействие воды в яблочном пюре происходит с растворенными сахарами и полисахаридами неводных фракций. Сделав предположение о сходности таких взаимодействий, можно полагать, что при влажности 1 г H_2O/г сухого веса образец яблочного пюре имеет от трех до десяти монослоев воды.

Исследуя значения коэффициента диффузии воды в поверхностных слоях силикагеля, авторы работы [27] показали, что величина *D* имеет пониженное на порядок значение около поверхности взаимодействия и восстанавливается до значений *D* в свободной воде на расстоянии, превышающем 15 монослоев от поверхности. Можно предположить, что в образцах яблочного пюре с влагосодержанием 1 г H_2O/г сухого веса вся вода находится под влиянием взаимодействия с полисахаридами, и увеличение *D* с повышением времени теплового воздействия отражает ослабление энергии взаимодействия вода – полисахарид. Это говорит о комплексном воздействии теплового эффекта на яблочное пюре, выражающемся в агломерации фрагментов и уменьшении энергии взаимодействия воды с растворами сахаров и полисахаридами клеточных структур.

В отличие от нативных яблок, где четко определены структурные понятия (вакуоли, цитоплазм, клеточные мембраны), в яблочном пюре тканевая структура разрушена. Для характеристики биофизических изменений следует применять обобщенные параметры, не привязанные к какой-либо структуре. Одним из таких параметров может быть количество некристаллизующейся при определенной отрицательной температуре воды. Количество некристаллизующейся воды может характеризовать взаимодействие в системе вода – неводная структура клетки и изменение количества центров этого взаимодействия. В яблочном пюре такого рода систему могут создать растворы сахаров, полисахариды, остатки клеточных мембран и аминокислоты. Такого рода взаимодействие может характеризовать многие свойства продуктов, влияющие на их сохранность [28]. Результаты изменения количества некристаллизующейся при –70 °C воды в яблочном пюре, подвергнутом термической обработке при 60 °C в течение 35 суток, представлены на рисунке 9. Следует отметить, что значения некристаллизующейся

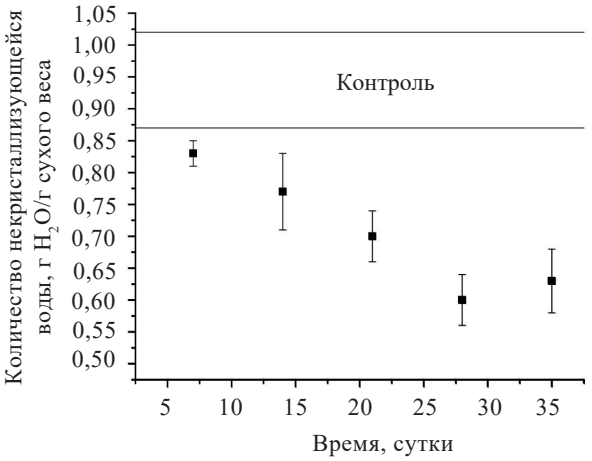


Рисунок 9. Количество некристаллизующейся воды при –70 °С воды в образцах яблочного пюре при тепловом воздействии в 60 °С

Figure 9. Non-crystallizing water (–70°C) at 60°C

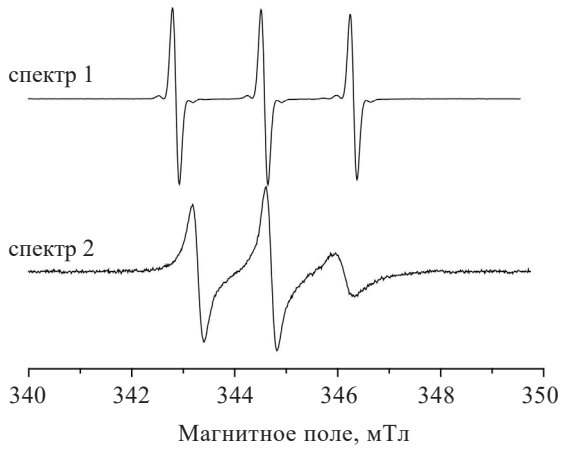


Рисунок 10. Спектры ЭПР зондов ТЕМПО (спектр 1) и 16DSA (спектр 2) в образцах яблочного пюре. Измерение при температуре 20 °С

Figure 10. RCS spectra of TEMPO (spectrum 1) and 16DSA (spectrum 2) probes at 20°C

воды для яблочного пюре больше, чем для образцов крахмала и крахмального геля (0,2–0,4 г H_2O/г сухого веса) [29, 30]. Это может быть следствием высокой дисперсности пюре.

Наблюдаемые изменения значений некристаллизующейся воды можно объяснить как уменьшением энергии взаимодействия вода – неводные фракции, так и уменьшением поверхности этого взаимодействия, которое может произойти в результате агломерации неводных структур. Подобного рода агломерации можно видеть на рисунке 6c и d.

Интерпретация релаксационных и диффузионных исследований яблочного пюре предполагает определенный механизм этих явлений. Его связывают с наличием нескольких областей (вакуоль, цитоплазма, клеточная мембрана) с различными релаксационными свойствами [12, 31]. Релаксация в каждой области определяется объемной и поверхностной релаксацией, зависящей от скорости химического обмена, химическим сдвигом $\Delta\omega$ и коэффициентом диффузии. Для яблочного пюре наличие химического обмена может оказывать влияние на релаксацию, т. к. примерно 85 % состава представляют собой растворы сахаров и других веществ. При наличии диффузионного обмена между областями релаксационные свойства зависят от размеров областей и проницаемости стенок (мембран), ограничивающих данную область [32]. Также на релаксацию оказывает влияние наличие областей с различной магнитной восприимчивостью, особенно для образцов нативных яблок, где воздух занимает приблизительно 20–25 % объема. В случае яблочного пюре этот фактор отсутствует.

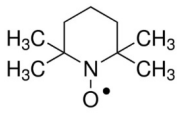
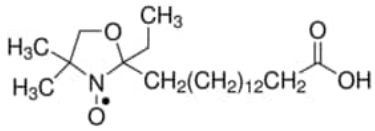
Если времена протонной магнитной релаксации дают информацию о подвижности самой молекулы воды, то подвижность спиновых зондов, изучаемая методом ЭПР, дает такую информацию опосредованно в зависимости от локализации зонда. В гетерогенных системах радикал ТЕМПО локализуется в областях, имеющих меньшую плотность и большой свободный объем для вращения зонда. Данные области могут быть как гидрофобными, так и гидрофильными [32, 33]. На рисунке 10 представлен спектр ЭПР радикала ТЕМПО (спектр 1) в образце после 21 суток термической обработки яблочного пюре при 60 °С. Спектры ЭПР зонда ТЕМПО во всех образцах яблочного пюре, независимо от времени термообработки, идентичны. Значения времени корреляции и изотропной константы СТВ, a^N, зонда ТЕМПО, представленные в таблице 3, указывают на локализацию радикала в гидрофильной области исследуемой системы в водной фазе. На рисунке 10 (спектр 2) представлен спектр ЭПР радикала 16DSA в яблочном пюре. Данный радикал плохо растворим в воде, поэтому он локализован в гидрофобных областях гетерогенных систем, что видно с учетом его молекулярно-динамических характеристик (табл. 3) [21].

В нашем случае локализация возможна внутри доменов с высокой долей пектина или клетчатки. Как и в случае с зондом ТЕМПО, спектры ЭПР зонда 16DSA во всех образцах яблочного пюре идентичны и не изменяются при термообработке в течение 30 суток.

Неизменность параметров ЭПР зондов при термообработке указывает на то, что все изменения физической структуры яблочного пюре происходят на макромолекулярном уровне и не затрагивают микроуровень, в котором работает техника ЭПР (времена корреляции спиновых зондов $\tau_c \sim 10^9$–10^{11} Гц).

Таблица 3. Структура, времена корреляции и изотропные константы СТВ нитроксильных радикалов в образцах яблочного пюре. Измерение при температуре 20 °С

Table 3. Structure, correlation times, and isotropic constants of nitroxide radicals at 20°C

Спиновый зонд	Время корреляции, с	Константа СТВ, мТл
2,2,6,6-Тетраметилпиперидин-1-оксил (ТЕМПО) 	$3{,}0\times10^{-11}$	1,725
16-Доксилстеариновая кислота (16DSA) 	$1{,}2\times10^{-9}$	1,410

Агрегация, при которой возможны изменения в характере перестройки полисахаридных цепей как целого, может быть такого рода уровнем. Изменения в структуре и динамике взаимодействия воды и неводных фракций, наблюдаемые в нашем опыте, могут быть выявлены другими методиками ЭПР, такими как методика переноса насыщения, работающая в частотном диапазоне спиновых зондов (10^5 с и ниже) [34]. К сожалению, технические возможности не позволили нам провести такого рода исследования, мы надеемся осуществить это в дальнейшем.

Выводы

При длительном выдерживании яблочного пюре в упаковке из комбинированного материала при 40–60 °С меняется цвет, количество кристаллизующейся при –70 °С воды и релаксационные характеристики протонов воды, а также размеры частиц клеток яблока.

Изменение цвета более четко, по сравнению с другими характеристиками, отражает влияние температуры и времени воздействия на процессы, приводящие к изменению свойств пюре, и коррелирует с изменением органолептических характеристик продукта при тех же температурах. При длительном выдерживании яблочного пюре в упаковке из комбинированного материала при 40–60 °С изменение цвета, основной причиной которого является превращение полифенолов в хиноны, соответствует кинетическому уравнению реакции нулевого порядка, а энергия активации этого процесса составляет 92 кДж/моль. Поэтому можно надеяться, что в дальнейшем при получении дополнительных данных для аналогичных продуктов с использованием этой характеристики можно будет разработать ускоренный метод объективной инструментальной оценки срока хранения яблочного пюре.

Времена спин-решеточной (T_1) и спин-спиновой (T_2) релаксаций исследованного продукта имеют однокомпонентный характер. Это свидетельствует о разрушении клеточных структур в процессе приготовления пюре. Чем выше температура термообработки, тем больше начальные скорости увеличения T_1 и T_2 и их квазистационарные значения. Энергия активации процесса, оцениваемая по изменению T_1, составляет ~ 82 кДж/моль, а по изменению T_2 на начальных стадиях ~ 94 кДж/моль. Качественное соответствие значений энергий активации, определяемых методами цветометрии и протонной релаксации, свидетельствует об общности процессов, ответственных за образование окрашенных структур и изменение состояния воды при термообработке пюре в исследованном диапазоне температур.

Данные, полученные методами оптической микроскопии, ЯМР релаксации, ДСК и ЭПР, свидетельствуют о том, что основным физическим процессом при хранении пюре при повышенных температурах является агрегация фрагментов клеток яблока и уменьшение количества связанной с этими фрагментами воды.

Критерии авторства

А. И. Сергеев проводил исследование, измерение характеристик продукта и анализ данных, писал статью. И. Г. Калинина проводила исследование и измерение характеристик продукта. Н. Г. Шилкина отрабатывала методику эксперимента и проводила исследование. И. И. Барашкова проводила эксперимент и анализ полученных результатов. М. А. Градова проводила эксперимент и анализ полученных результатов. М. В. Мотякин проводил эксперимент и анализ полученных результатов, редактировал статью. В. Б. Иванов проводил анализ данных, готовил и редактировал статью.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.I. Sergeev performed the research, analyzed the data, and wrote the paper. I.G. Kalinina performed the research and measurements. N.G. Shilkina performed the research and measurements. I.I. Barashkova was responsible for the research and data analysis. M.A. Gradova performed the research and data analysis. M.V. Motyakin performed the research, analyzed the data, and proofread the manuscript. V.B. Ivanov analyzed the data, drafted the manuscript, and proofread the final version.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Rocha AMCN, Morais AMMB. Self live of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour change. Food Control. 2003;14(1):13–20. https://doi.org/10.1016/S0956-7135(02)00046-4

2. Osuga R, Sakurai M, Orikasa T, Uemura M. Quality and microbial evaluation of fresh-cut apples during 10 days of supercooled storage. Food Control. 2021;126. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108014

3. Vaikousi H, Koutsoumanis K, Biliaderis CG. Kinetic modeling of non-enzymatic browning of apple juice concentrates differing in water activity under isothermal and dynamic heating conditions. Food Chemistry. 2008;107(2):785–796. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.078

4. Quintero Ruts NA, Demarchi SM, Massolo JF, Rodoni LM, Giner SA. Evaluation of quality during storage of apple leather. LWT. 2012;47(2):485–492. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.012

5. Prchalová J, Čížková H, Sevcik R, Hanušová K, Rajchl A. Evaluation of shelf-life of fruit baby food. Agronomy Research. 2016;14(2):556–558.

6. Joardder MUH, Mourshed M, Masud MH. State of bound water: Measurement and significance in food processing. Cham: Springer; 2019. 142 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99888-6

7. Sergeev A, Mettu S, Zaborova V. The influence of extruded flour on water content and retrogradation process in muffins during storage: NMR relaxation study. Journal of Food Science and Technology. 2021;58(5):2028–2033. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04921-5

8. Leca A, Clerjon S, Bonny J-M, Renard CMGC, Traore A. Multiscale NMR analysis of the degradation of apple structure due to thermal treatment. Journal of Food Engineering. 2021;294. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110413

9. Marigheto N, Venturi L, Hills B. Tow-dimensional NMR relaxation studies of apple quality. Postharvest Biology and Technology. 2008;48(3):331–340. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.11.002

10. Chayaprasert W, Stroshine R. Rapid sensing of internal browning in whole apples using a low-cost, low field proton magnetic resonance sensor. Postharvest Biology and Technology. 2005;36(3):291–301. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.02.006

11. Hills BP, Duce SL. The influence of chemical and diffusive exchange on water proton transverse relaxation in plant tissues. Magnetic Resonance Imaging. 1990;8(3)321–331. https://doi.org/10.1016/0730-725X(90)90106-C

12. Snaar JEM, Van As H. Probing water compartments and membrane permeability in plant cells by ^{1}NMR relaxation measurements. Biophysical Journal. 1992;63(6):1654–1658. https://doi.org/10.1016/S0006-3495(92)81741-1

13. Sibgatullin TA, de Jager PA, Vergeldt FJ, Gerkema E, Anisimov AV, Van As H. Combined analysis of diffusion and relaxation behavior of water in apple parenchyma cells. Biophysics. 2007;52(2):196–203. https://doi.org/10.1134/S0006350907020091

14. Tylewicz U, Aganovic K, Vannini M, Toepfl S, Bortolotti V, Dalla Rosa M, *et al.* Effect of pulsed electric field treatment on water distribution of freeze-dried apple tissue evaluated with DSC and TD-NMR techniques. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2016;37:352–358. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.012

15. Ding M, Lu Y, Bowman L, Huang C, Leonard S, Wang L, *et al.* Inhibition of AP-1 and neoplastic transformation by fresh apple peel extract*. Journal of Biological Chemistry. 2004;279(11):10670–10676. https://doi.org/10.1074/jbc.M311465200

16. Oszmianski J, Wolniak M, Wojdyło A, Wawer I. Influence of apple pure´e preparation and storage on polyphenol contents and antioxidant activity. Food Chemistry. 2008;107(4):1473–1484. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.003

17. Irwin PL, Sevilla MD, Chamulitrat W, Hoffman AE, Klein J. Localized, internal, and supramolecular polyuronide motions in cell wall matrices: A comparison of solid-state NMR and EPR relaxation behavior. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1992;40(11):2045–2051. https://doi.org/10.1021/jf00023a003

18. Raffi JJ, Agnel J-PL. Electron spin resonance identification of irradiated fruits. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry. 1989;34(6):891–894.

19. Berliner LJ. Spin labeling. Theory and applications. New York: Academic Press; 1976.

20. Wasserman AM, Yasina LL, Motyakin MV, Aliev II, Churochkina NA, Rogovina LZ, *et al.* EPR spin probe study of polymer associative systems. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2008;69(5):1344–1353. https://doi.org/10.1016/j.saa.2007.09.028

21. Wasserman AM. Spin probes in micelles. Russian Chemical Reviews. 1994;63(5):373–382. https://doi.org/10.1070/RC1994v063n05ABEH000091

22. Stejskal EO, Tanner JE. Spin diffusion measurements: Spin echoes in the presence of a time-dependent field gradient. The Journal of Chemical Physics. 1965;42(1):288–292. https://doi.org/10.1063/1.1695690

23. Keener KM, Stroshine RL, Nyenhuis JA. Proton magnetic resonance measurements of self-diffusion coefficient of water in sucrose solutions, citric acid solutions, fruit juices, and apple tissue. Transactions of the ASAE. 1997;40(6):1633–1641. https://doi.org/10.13031/2013.21402

24. Keener KM, Stroshine RL, Nyenhuis JA. Evaluation of low field (5.40-MHz) Proton magnetic resonance measurements of D_w and T_2 as methods of nondestructive quality evaluation of apples. Journal of the American Society for Horticultural Science. 1999;124(3):289–295. https://doi.org/10.21273/JASHS.124.3.289

25. Le Boltan D, Rugraff Y, Martin C, Colonna P. Quantitative determination of bound water in wheat starch by time domain NMR spectroscopy. Carbohydrate Research. 1998;308(1–2):29–36. https://doi.org/10.1016/S0008-6215(98)00068-8

26. Bizot H, Le Bail P, Leroux B, Davy J, Roger P, Buleon A. Calorimetric evaluation of the glass transition in hydrated, linear and branched polyanhydroglucose compounds. Carbohydrate Polymers. 1997;32(1):33–50. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(96)00146-4

27. Morariu VV, Mills R. Self-diffusion of water adsorbed on silica. Zeitschrift für Physikalische Chemie. 1972;79:1–9. https://doi.org/10.1524/zpch.1972.79.1_2.001

28. Roos YH. Phase transition in foods. San Diego: Academic Press; 1995. 360 p.

29. Suzuki S, Kitamua S. Unfrozen water in amylosic molecules is dependent on the molecular structures – A differential scanning calorimetric study. Food Hydrocolloids. 2008;22(5):862–867. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.04.011

30. Tananuwong K, Reid DS. DSC and NMR relaxation studies of starch-water interactions during gelatinization. Carbohydrate Polymers. 2004;58(3):345–358. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.08.003

31. Brownstein KR, Tarr CE. Importance of classical diffusion in NMR studies of water in biological cells. Physical Review A. 1979;19(6):2446–2453. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.19.2446

32. Buchachenko AL, Vasserman AM. Stable radical. Moscow: Khimiya; 1973. 408 p. (In Russ.). [Бучаченко А. Л., Вассерман А. М. Стабильные радикалы. М.: Химия, 1973. 408 с.].

33. Timofeev VP, Misharin AYu, Tkachev YaV. Simulation of EPR spectra of the radical TEMPO in water-lipid systems in different microwave ranges. Biophysics. 2011;56(3):407–417. https://doi.org/10.1134/S0006350911030274

34. van den Dries IJ, van Dusschoten D, Hemminga MA, van der Linden E. Effects of water content and molecular weight on spin probe and water mobility in malto-oligomer glasses. Journal of Physical Chemistry B. 2000;104(44):10126–10132. https://doi.org/10.1021/jp0001541

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2428
https://elibrary.ru/SBXYHE

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Electrotechnological Heat Treatment of Milk: Energy and Exergy Efficiency

Andrei A. Bagaev*, Sergey O. Bobrovskiy

Altai State Agricultural University, Barnaul, Russia

Received: 28.11.2022
Revised: 13.01.2023
Accepted: 07.02.2023

**Andrei A. Bagaev: BAGAEV710@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2586-2590*
Sergey O. Bobrovskiy: https://orcid.org/0000-0001-9243-0179

© A.A. Bagaev, S.O. Bobrovskiy, 2023

Abstract.
The dairy industry needs new and more energy-efficient technological procedure for milk pasteurization. This article introduces a comparative efficiency assessment of various milk pasteurization technologies and electrotechnological means.
The study featured milk, which was heated from 20 to 75°C with a capacity of 1000 kg/h at an estimated power of 58.95 kW. The treatment involved a steam-to-milk pasteurizer with electric indirect or direct heating, an induction pasteurizer, and a thermosiphon pasteurizer with direct or indirect electric heating. The study relied on the methods of energy and exergy analyses.
The system of steam-to-milk pasteurizer with electric indirect (elemental, induction) or direct (electrode) heating demonstrated the following indicators: exergy loss – 1.29 kW, power consumption – 71.29 kW, exergy efficiency – 0.99, energy efficiency – 0.827. The thermosiphon pasteurizer with direct or indirect electric heating demonstrated the following properties: exergy loss – 1.29 kW, power consumption – 60.92 kW, exergy efficiency – 0.99, energy efficiency – 0.9676. The induction pasteurizer had the least competitive parameters: exergy loss – 10.8 kW, power consumption – 70.43 kW, exergy efficiency – 0.867, energy efficiency – 0.837.
The thermosiphon pasteurizer with direct or indirect electric heating was able to increase the energy efficiency of milk pasteurization, while the induction pasteurizer proved to be a promising R&D direction.

Keywords. Pasteurization, dairy products, exergy efficiency, energy efficiency, electrotechnology, direct heating, indirect heating, induction heating, thermodynamic properties

For citation: Bagaev AA, Bobrovskiy SO. Electrotechnological Heat Treatment of Milk: Energy and Exergy Efficiency. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):272–280. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2428

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2428
https://elibrary.ru/SBXYHE

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Энергетическая и эксергетическая оценка электротехнологических средств термической обработки молока

А. А. Багаев*, С. О. Бобровский

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия

Поступила в редакцию: 28.11.2022
Принята после рецензирования: 13.01.2023
Принята к публикации: 07.02.2023

**А. А. Багаев: BAGAEV710@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2586-2590*
С. О. Бобровский: https://orcid.org/0000-0001-9243-0179

© А. А. Багаев, С. О. Бобровский, 2023

Аннотация.
Поиск и обоснование перспективных направлений повышения энергоэффективности технологических процессов пастеризации молока является актуальной научно-технической проблемой. Целью настоящей работы являлось получение сравнительной оценки эффективности технологий и технических устройств пастеризации молока с использованием электротехнологических средств.
Объектом исследования являлся процесс нагрева молока от 20 до 75 °С производительностью 1000 кг/ч при расчетной мощности 58,95 кВт в разных устройствах термической обработки молока: пастеризатор «водяной пар – молоко» с использованием электротехнологических средств нагрева, пастеризатор индукционного типа и термосифонный пастеризатор с использованием прямого или косвенного электронагрева. Использовали методы энергетического и эксергетического анализа.
Система «пастеризатор молока “водяной пар – молоко” с использованием электрического косвенного (с помощью элементного, индукционного) или прямого (электродного) нагрева» характеризуется следующими показателями: потери эксергии – 1,29 кВт, потребляемая мощность – 71,29 кВт, эксергетический КПД – 0,99, энергетический КПД – 0,827. Для системы «термосифонный пастеризатор с использованием прямого или косвенного электронагрева» характерны: потери эксергии – 1,29 кВт, потребляемая мощность – 60,92 кВт, эксергетический КПД – 0,99, энергетический КПД – 0,9676. Наименее конкурентоспособными параметрами обладает пастеризатор индукционного типа: потери эксергии – 10,8 кВт, потребляемая мощность – 70,43 кВт, эксергетический КПД – 0,867, энергетический КПД – 0,837.
Для повышения энергоэффективности процесса пастеризации молока целесообразно использовать систему «пастеризатор термосифонного типа с использованием прямого или косвенного электронагрева». Перспективным направлением дальнейших исследований следует считать совершенствование системы типа «пастеризатор индукционного типа».

Ключевые слова. Пастеризация, молочные продукты, эксергетическая эффективность, энергетическая эффективность, электротехнология, прямой нагрев, косвенный нагрев, индукционный нагрев, термодинамические свойства

Для цитирования: Багаев А. А., Бобровский С. О. Энергетическая и эксергетическая оценка электротехнологических средств термической обработки молока // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 272–280. (На англ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2428

Introduction

The current development trends are such that food enterprises are increasing in capacity but decreasing in number. As a result, it takes longer to ship dairy raw materials from farms to shops or processing facilities, and milk cooling technologies often fail to meet this new challenge.

The primary milk processing destroys pathogenic microorganisms, e.g., *Escherichia coli*, typhoid pathogens, tuberculosis, etc. It also destroys enzyme systems, e.g., phosphatase: the absence of phosphatase is a marker of sufficient disinfection [1]. A proper treatment also means that none of these pathogens is able to form spores in milk.

Pasteurizers with water or vapor of varying saturation degrees as an intermediate heat carrier is currently the most popular commercial type [2, 3]. Water heating and vaporization are non-specific processes that can be provided by such electrotechnological means as indirect (elemental, induction) or direct (electrode) heating.

The dairy industry knows other antibacterial milk treatment technologies that do not involve thermal methods, e.g., ultrasound treatment, infrared and ultraviolet irradiation, solar energy, microwave currents,

hydrodynamic, etc. [4–13]. These technologies still remain R&D projects and have not entered commercial dairy production.

Therefore, thermal treatment remains the only technology that ensures the safety of dairy products in terms of pathogenic microorganisms and enzyme systems. In fact, heat treatment is a combination of temperature and exposure time that destroys pathogenic microorganisms and enzyme systems in milk. Heat treatment modes in dairy production differ in temperature modes and heating time. Of all the methods listed in [1], we used the so-called high-temperature short-term pasteurization. It presupposes a temperature of 72–75°C for 15–20 s.

Induction heating is a promising thermal processing technology in food production. Its energy efficiency is as high as 95–99%, but the objectivity of this method is yet to be confirmed [14–18].

A literature review showed that the number of existing and effective milk pasteurization technologies is quite large, but food producers still need objective methods for assessing their energy efficiency and improvement prospects.

Modern approaches to efficiency tests of technological processes and systems rely on the efficiency criterion, energy efficiency, and exergy efficiency [19].

Exergy efficiency is based on the second law of thermodynamics. The thermodynamic analysis involves a system of equations for the balance of mass, energy, entropy, and exergy [20]. This study concentrated on the energy and exergy balance equations.

Heating processes are irreversible. The first and second laws of thermodynamics for irreversible systems can be represented as four characteristic thermodynamic functions that are irreducible to each other. One of them is the Gibbs energy (isobaric-isothermal potential) calculated as $G = h - T \times S$, where G is the Gibbs energy, h is the enthalpy, T is the temperature, and S is entropy.

The Gibbs energy equation was used to calculate specific exergy ψ in [20, 21]:

$$\psi = (h - h_0) - T_0 (S - S_0) \quad (1)$$

where h_0, S_0 are enthalpy and entropy of the initial state of substances (base for comparison) at initial temperature T_0 and initial pressure P_0.

According to [20], the system exergy is calculated as follows:

$$E_X = m \times \Psi = m \times \left[(h - h_0) - T_0 (S - S_0) \right] \quad (2)$$

The overall balance of exergy is estimated as follows [20]:

$$\Delta E_X = \sum E_X^{IN} - \sum E_X^{OUT} \quad (3)$$

where $\sum E_X^{IN}$ is the sum of exergies at the input to the system elements; $\sum E_X^{OUT}$ is the sum of exergies at the output of the elements of the system or the total exergy production.

Exergy efficiency is the ratio of exergy output (total exergy production) to exergy input (total energy consumed). Therefore, the exergy efficiency, %, is calculated as follows:

$$\eta_{en} = \frac{\sum E_X^{OUT}}{\sum E_X^{IN}} \times 100 = \left(1 - \frac{\Delta E_X}{\sum E_X^{IN}} \right) \times 100 \quad (4)$$

A greater exergy efficiency η_{en} is the condition for increasing the efficiency of compared processes or systems.

Energy efficiency is based on the first law of thermodynamics. Efficiency factor η_{en} serves as the simplest and most common assessment of energy efficiency. It is calculated as the ratio of the required useful power for heating milk P_{use} to the power consumed by the electrotechnological installation P_{ETI}, %:

$$\eta_{en} = \frac{P_{use}}{P_{ETI}} \times 100 \quad (5)$$

Efficiency can be increased by exceeding energy efficiency η_{en} of the process or system in question.

The research objective was to develop an assessment method based on energy and exergy analysis to compare the effectiveness of technologies and electrotechnological devices.

Study objects and methods

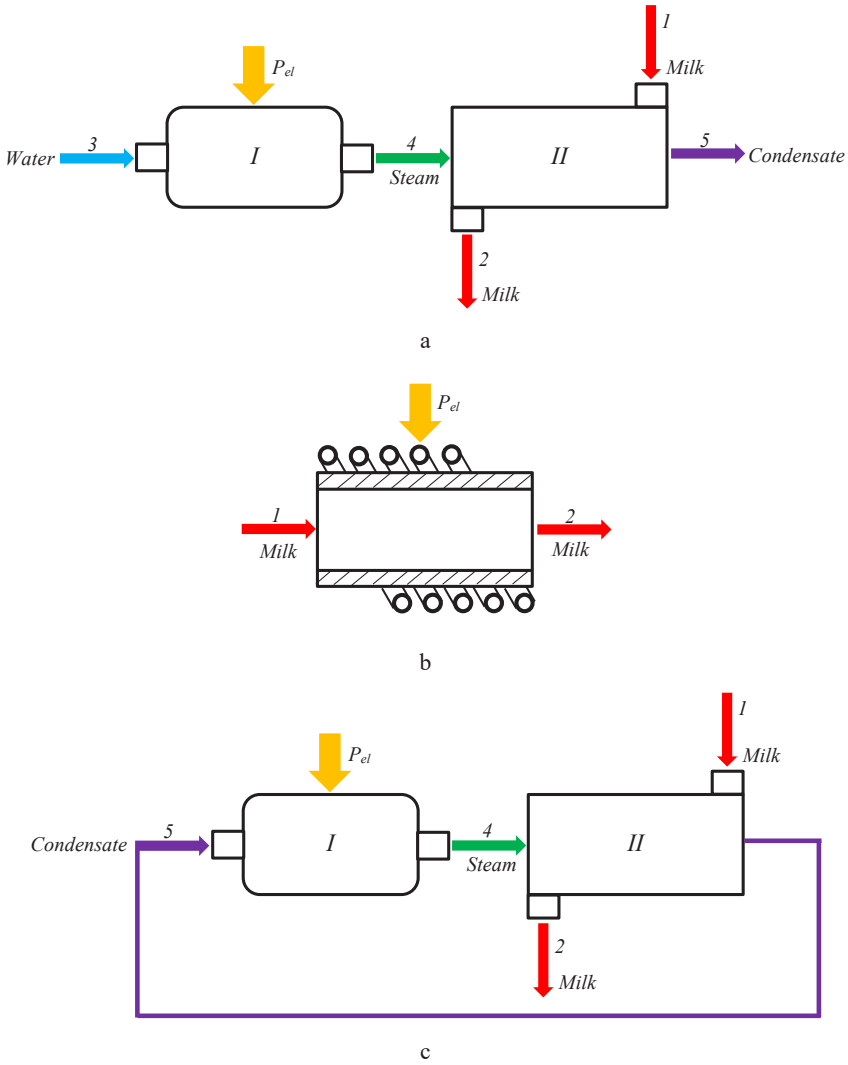
The research relied on the methods of energy and exergy analyses.

It involved exergy and energy processes based on the first and second laws of thermodynamics that occur in electrotechnologi cal devices used for the thermal treatment of liquid foods. The first device was a steam-to-milk pasteurizer with electrical indirect (with heating elements, induction) or direct (electrode) heating (Fig. 1a). The second device was an induction type pasteurizer (Fig. 1b). The third one was a thermosiphon pasteurizer with one of the above methods (Fig. 1c).

The analysis of the exergy and energy efficiency was correct due to the shared initial data reported in [22], which defined the hydro- and thermodynamic characteristics of heat exchangers for heating milk: milk production G = 1000 kg/h = 0.27 kg/s = 0.96 m^3/h, heating pipe wall temperature T_w = 100°C, milk input temperature T_{in} = 20°C, output milk temperature T_{out} = 75°C.

If the specific heat capacity of milk c is 3.97 kJ/(kg·deg), then the useful heat flow, kW, and the power of the electrothermal installation are:

$$P_{use} = Q = Gc \times (T_{out} - T_{in}) = 58.95 \quad (6)$$



I – a water steam-to-milk pasteurizer with electric direct or indirect heating; *II* – an induction pasteurizer; *III* – a thermosiphon pasteurizer with direct or indirect electric heating

Figure 1. Milk pasteurization systems: a – a steam-to-milk pasteurizer; b – an induction pasteurizer; c – a thermosiphon pasteurizer with direct/indirect electric heating

Рисунок 1. Схемы систем пастеризации молока: a – пастеризатор молока типа «водяной пар – молоко»; b – пастеризатор индукционного типа; c – пастеризатор термосифонного типа с использованием прямого или косвенного электронагрева

Wall temperature of the heat exchange surface T_w = 100°C is limited by the requirements of thermal stability because raw milk must withstand heat treatment without protein coagulation (denaturation) [23]. It also depends on the presence of thermolabile proteins in milk.

We investigated the dependence of the coefficients of exergy and energy efficiency of electrotechnological milk-heating devices at given performance values for milk and heat exchanger geometry. The list of systems included a steam-to-milk pasteurizer with electric indirect or direct heating, an induction pasteurizer, and a thermosiphon pasteurizer with direct or indirect electric heating.

The research involved the following assumptions:
– We did not take into account the heat losses to the environment;
– The operation mode was considered to be in a steady state;
– We did not calculate the pressure drops in the heat exchangers and pipelines; and
– Kinetic, potential, and chemical energies were neglected.

Results and discussion

The thermodynamic properties of water and water vapor, i.e., enthalpy, entropy, specific heat of vaporization, etc., were known.

The enthalpy of substance h is the product of the specific heat capacity c and temperature T: $h = cT$.

Figure 1a shows the circuit for this type of the steam-to-milk pasteurizer with electrical indirect (using elemental, induction) or direct (electrode) heating. It is a steam generator with an electrode, elemental, or induction heater as energy source.

Steam temperature t_{st}, °C, at working pressure, MPa:

$$P_{st} = 0.13 - 0.15$$
$$t_{st}^{0.13} = 107.02$$
$$t_{st}^{0.15} = 120$$

Medium steam temperature t_m, °C:

$$t_m = \frac{t_{st}^{0.13} + t_{st}^{0.15}}{2} = 110 \quad (7)$$

Heating steam consumption m_{st}, kg/s, given that (6):

$$m_{st} = \frac{Q}{(h_{st} - h_c)} = 0.0273 \quad (8)$$

where Q is the useful heat flow and power of the electrothermal installation, kW; h_{st} is the steam enthalpy, h_{st} = 2117912 J/kg; h_c is the enthalpy of the condensate, h_c = 461696.1 J/kg.

According to the first law of thermodynamics, to ensure milk productivity G = 1000 kg/h = 0.27 kg/s when it is heated from T_{in} = 20°C at the input to T_{out} = 75°C at the output, the procedure requires steam flow m_{st} = 0.0273 kg/s.

The resulting water vapor condenses on the heat exchange surface of pipes or heat exchanger planes and transfers heat to the heated medium. Water enters the steam generator from an external source.

We calculated the exergy parameters using the thermodynamic parameters of water, steam, condensate, and milk according to formulae (1) and (2) (Table 1).

We calculated the electrical energy cost used to produce steam P_{el}, kW, according to Table 1:

$$P_{el} = m_{st} \times (h_5 - h_4) = 0.0273 \times (2693.3 - 83.93) = 71.29 \quad (9)$$

The data in Table 1 made it possible to determine the sum of exergies at the input to the elements of the system E_X^{IN}, kW, in line with the diagram represented in Fig. 1a. The indices of the constituent exergies followed the order in Table 1:

$$E_X^{IN} = P_{el} + E_{X4} + E_{X5} + E_{X1} = 155.55 \quad (10)$$

The sum of exergies at the output to the elements of the system $\sum E_X^{OUT}$, kW, looked as follows:

$$\sum E_X^{OUT} = E_{X5} + E_{X6} + E_{X2} = 154.26 \quad (11)$$

According to (4), exergy loss ΔE_X, kW, was calculated as

$$\Delta E_X = \sum E_X^{IN} - \sum E_X^{OUT} = 1.29 \quad (12)$$

Then, the exergy efficiency, %, took the form of

$$\eta_{ex} = \frac{\sum E_X^{OUT}}{\sum E_X^{IN}} \times 100 = \left(1 - \frac{\Delta E_X}{\sum E_X^{IN}}\right) \times 100 = 99 \quad (13)$$

As a result, the equation for the energy efficiency looked like this, %:

$$\eta_{en} = \frac{P_{use}}{P_{ETI}} \times 100 = \frac{58.95}{71.29} \times 100 = 82.7 \quad (14)$$

Figure 1b illustrates the scheme of the induction pasteurizer. Such factors as induction heating of ferromagnets, optimal electromagnetic field frequency, inductors, loading geometry, and heating time were known and had no direct relation to the induction heating of foodstuffs. Few publications [14–18] on induction heating in the food industry feature both advantages and disadvantages of the heating technology in question.

As in Table 1, the energy used to heat milk P_{el}, kW, was defined as follows:

Table 1. Thermodynamic properties of liquids and calculated exergy indicators in the steam-to-milk pasteurizer with electric indirect (tubular electric heaters, induction) or direct (electrode) heating

Таблица 1. Термодинамические свойства жидкостей и результаты расчета показателей эксергии в системе «пастеризатор молока типа “водяной пар – молоко” с использованием электрического косвенного (с помощью элементного, индукционного) или прямого (электродного) нагрева»

No.	Medium	$T, \frac{K}{^\circ C}$	$h, \frac{kJ}{kg}$	$S, \frac{kJ}{kg \times K}$	$m, \frac{kg}{s}$	$\psi = h - h_0, \frac{kJ}{kg}$	$E_x = m \times \psi$, kW
0	Water	283/10	42.07	0.150	0.0273	–	–
0’	Milk	283/10	38.80	3.880	0.2700	–	–
1	Milk	293/20	78.80	3.940	0.2700	40.00	10.80
2	Milk	348/75	299.63	3.995	0.2700	260.85	70.43
4	Water	293/20	83.96	0.296	0.0273	41.89	1.14
5	Steam	383/110	2693.30	7.244	0.0273	2651.23	72.38
6	Condensate	383/110	461.69	1.419	0.0273	419.62	11.45

Table 2. Thermodynamic properties of liquids and calculated exergy indicators in the induction pasteurizer

Таблица 2. Термодинамические свойства жидкостей и результаты расчета показателей эксергии в системе «пастеризатор индукционного типа

No.	Medium	$T, \frac{K}{^{\circ}C}$	$h, \frac{kJ}{kg}$	$S, \frac{kJ}{kg \times K}$	$m, \frac{kg}{s}$	$\psi = h - h_0, \frac{kJ}{kg}$	$E_x = m \times \psi$, kW
0	Water	283/10	42.07	0.150	0.0273	–	–
0’	Milk	283/10	38.80	3.880	0.2700	–	–
1	Milk	293/20	78.80	3.940	0.2700	40.00	10.80
2	Milk	348/75	299.63	3.995	0.2700	260.85	70.43

Table 3. Thermodynamic properties of liquids and calculated exergy indicators in the thermosiphon pasteurizer with direct or indirect electric heating

Таблица 3. Термодинамические свойства жидкостей и результаты расчета показателей эксергии в системе «пастеризатор термосифонного типа с использованием прямого или косвенного электронагрева»

No.	Medium	$T, \frac{K}{^{\circ}C}$	$h, \frac{kJ}{kg}$	$S, \frac{kJ}{kg \times K}$	$m, \frac{kg}{s}$	$\psi = h - h_0, \frac{kJ}{kg}$	$E_x = m \times \psi$, kW
0	Water	283/10	42.07	0.150	0.0273	–	–
0’	Milk	283/10	38.80	3.880	0.2700	–	–
1	Milk	293/20	78.80	3.940	0.2700	40.00	10.80
2	Milk	348/75	299.63	3.995	0.2700	260.85	70.43
4	Water	293/20	83.96	0.296	0.0273	41.89	1.14
5	Steam	383/110	2693.30	7.244	0.0273	2651.23	72.38
6	Condensate	383/110	461.69	1.419	0.0273	419.62	11.45

$$P_{el} = G \times (h_2 - h_{0'}) = 0.0273 \times (299.65 - 38.8) = 70.43 \quad (15)$$

We obtained the following results for the sum of exergies at the input to the elements of the system E_X^{IN}, kW,

$$E_X^{IN} = P_{el} + E_{x1} = 81.23 \quad (16)$$

and for the sum at the output $\sum E_X^{OUT}$, kW:

$$\sum E_X^{OUT} = E_{X2} = 70.43 \quad (17)$$

The indices for the constituent exergies follow the order in Table 1 while Table 2 summarizes the calculation results.

As in (4), exergy loss ΔE_X, kW was calculated as:

$$\Delta E_X = \sum E_X^{IN} - \sum E_X^{OUT} = 10.8 \quad (18)$$

The equation for the exergy efficiency, %, looked as follows:

$$\eta_{ex} = \frac{\sum E_X^{OUT}}{\sum E_X^{IN}} \times 100 = \left(1 - \frac{\Delta E_X}{\sum E_X^{IN}}\right) \times 100 = 86.7 \quad (19)$$

The energy efficiency, %, was calculated based on the equation below:

$$\eta_{en} = \frac{P_{use}}{P_{ETI}} \times 100 = \frac{58.95}{70.43} \times 100 = 83.7 \quad (20)$$

Figure 1c visualizes a diagram for the thermosyphon pasteurizer with direct or indirect electrical heating. The thermosyphon consists of an evaporator filled with a certain amount of intermediate heat carrier, e.g., water, which undergoes a phase transformation into water vapor as a result of external thermal action, i.e., electrode, elemental, or induction heating. The vapor condenses on the heat exchange surface as a result of the heat transfer process through the heat transfer surface, thus transferring the thermal energy to the heated substance. The temperature of the condensate is the same as the temperature of the water vapor with a lower enthalpy. The thermosiphon has a highly effective thermal conductivity.

Using Table 1, we calculated the energy used to heat milk P_{el}, kW:

$$P_{el} = m_{st} \times (h_5 - h_6) = 0.0273 \times (2693.3 - 461.69) = 60.92 \quad (21)$$

The data summed up in Table 1 made it possible to use the scheme in Fig. 1a in order to determine the sum of exergies at the input to the elements of the system E_X^{IN}, kW:

$$E_X^{IN} = P_{el} + E_{X6} + E_{X5} + E_{X1} = 155.5 \quad (22)$$

The equation for $\sum E_X^{OUT}$, kW, looked as follows:

$$\sum E_X^{OUT} = E_{X5} + E_{X6} + E_{X2} = 154.2 \quad (23)$$

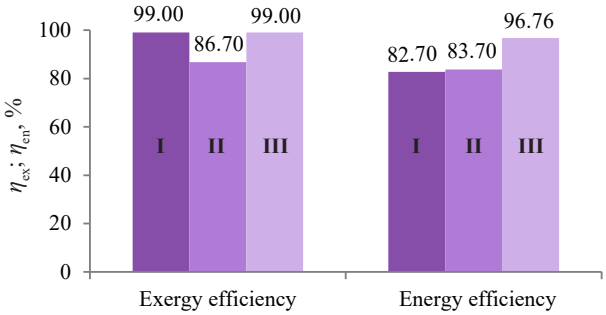
Table 4. Calculated exergy and energy characteristics of milk pasteurization systems

Таблица 4. Результаты расчета эксергетических и энергетических характеристик систем пастеризации молока

	E_X^{IN}, kW	E_X^{OUT}, kW	ΔE_X, kW	P_{use}, kW	η_{ex}	η_{en}
I	155.55	154.26	1.29	58.95	0.99	0.827
II	81.23	70.43	10.80	58.95	0.867	0.837
III	155.55	154.26	1.29	58.95	0.99	0.9676

I – a steam-to-milk pasteurizer with electric indirect (tubular electric heaters, induction) or direct (electrode) heating; II – an induction pasteurizer; III – a thermosiphon pasteurizer with direct or indirect electric heating.

I – пастеризатор молока типа «водяной пар – молоко» с использованием электрического косвенного (с помощью элементного, индукционного) или прямого (электродного) нагрева; II – пастеризатор индукционного типа; III – пастеризатор термосифонного типа с использованием прямого или косвенного электронагрева.



I – a water steam-to-milk pasteurizer with electric direct or indirect heating; II – an induction pasteurizer; III – a thermosiphon pasteurizer with direct or indirect electric heating

Figure 2. Exergy and energy efficiency, %

Рисунок 2. Эксергетическая и энергетическая эффективность, %

The indices of the constituent exergies follow the order in Table 1 while Table 3 sums up the calculations.

As in (4), exergy loss ΔE_X, kW, was calculated as follows:

$$\Delta E_X = \sum E_X^{IN} - \sum E_X^{OUT} = 1.29 \quad (24)$$

In the steady state, this heating technology does not waste the energy on heating water with a temperature of 20°C. Instead, it heats the condensate with a steam temperature of 110°C, which increases the energy efficiency of the process.

Therefore, the equation for exergy efficiency, %, looked like this:

$$\eta_{ex} = \frac{\sum E_X^{OUT}}{\sum E_X^{IN}} \times 100 = \left(1 - \frac{\Delta E_X}{\sum E_X^{IN}}\right) \times 100 = 99 \quad (25)$$

The equation for energy efficiency, %, took the following form:

$$\eta_{en} = \frac{P_{use}}{P_{ETI}} \times 100 = \frac{58.95}{60.92} \times 100 = 96.76 \quad (26)$$

Table 4 and Fig. 2 show the calculation results. It can be seen that the steam-to-milk pasteurizer (I) and the thermosiphon pasteurizer (III) had the same exergy efficiency whereas the induction pasteurizer (II) had a lower exergy efficiency.

The thermosyphon pasteurizer with direct or indirect electric heating (III) demonstrated the highest energy and exergy efficiency.

This heating technology revealed the following feature: in a steady state, the energy went not to heating the water with a temperature of 20°C to vaporize it but to the condensate with a steam temperature of 110°C. As a result, the process was more energy-efficient.

Conclusion

The steam-to-milk pasteurizer system with electrical indirect (elemental, induction) or direct (electrode) heating had the following indicators: exergy loss – 1.29 kW, power consumption – 71.29 kW, exergy efficiency – 0.99, energy efficiency – 0.827.

The thermosiphon pasteurizer with direct or indirect electric heating demonstrated the following results: exergy loss – 1.29 kW, power consumption – 60.92 kW, exergy efficiency – 0.99, energy efficiency – 0.9676.

The thermosiphon pasteurizer with direct or indirect electric heating had the highest energy efficiency in terms of energy and exergy analysis. It owed its advantage to the closed vaporization cycle, where the steam turned into condensate with the same temperature.

The induction pasteurizer had the least competitive parameters: exergy loss – 10.8 kW, power consumption – 70.43 kW, exergy efficiency – 0.867, energy efficiency – 0.837.

The steam-to-milk pasteurizer with electrical indirect (elemental, induction) or direct (electrode) heating and the thermosyphon pasteurizer with direct or indirect electric heating have almost exhausted their potential for further improvement. However, the induction pasteurizer still has good R&D prospects.

Contribution

A.A. Bagaev developed the research concept and methodology, set up the goal, formulated the conclusions and prospects, analyzed the data, provided scientific counselling, performed 2/3 of the analytical research,

and proofread the manuscript. S.O. Bobrovskiy reviewed the literary sources, performed 1/3 of the analytical research, and proofread the article.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Критерии авторства

А. А. Багаев – разработал концепцию и предложил методику исследования, сформулировал цель, выводы и перспективы исследования, провел анализ аналитических данных, осуществлял научное руководство, участвовал в подготовке 2/3 аналитической части исследования, редактировал статью до ее подачи в редакцию. С. О. Бобровский – провел обзор литературных источников по исследуемой проблеме, участвовал в подготовке 1/3 аналитической части исследования, участвовал в редактировании статьи до ее подачи в редакцию.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References/Список литературы

1. Heat exchangers [Internet]. [cited 03 Oct 2022]. Available from: https://pro-machine.ru/teploobmenniki

2. Tay TT, Chua YL. High temperature short time (HTST) camel milk pasteurization pilot plant. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015;10(15):6241–6245.

3. Gana IM, Gbabo A. Design of mini plant for soya milk production and pasteurization. Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 2017;19(4):45–53.

4. Mahmoud MZ, Davidson R, Abdelbasset WK, Fagirya MA. The new achievements in ultrasonic processing of milk and dairy products. Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2022;15(1):199–205. https://doi.org/10.1016/j.jrras.2022.03.005

5. Antipov ST, Zhuchkov AV, Ovsyannikov VYu, Babenko MS. Mathematical modeling of infrared milk pasteurization. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2013;58(4):67–72. (In Russ.). [Математическое моделирование процесса инфракрасной пастеризации молока / С. Т. Антипов [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. Т. 58. № 4. С. 67–72.]. https://www.elibrary.ru/RTUHAB

6. Ansari JA, Ismail M, Farid M. Extension of shelf life of pasteurized trim milk using ultraviolet treatment. Journal of Food Safety. 2020;40(2). https://doi.org/10.1111/jfs.12768

7. Setiawan B, Wakidah RN, Yulianto Y. Reflective array solar water heater for milk pasteurization. Journal of Environmental Research, Engineering and Management. 2020;76(4):131–137. https://doi.org/10.5755/j01.erem.76.4.24411

8. Tigabe S, Bekele A, Pandey V. Performance analysis of the milk pasteurization process using a flat plate solar collector. Journal of Engineering. 2022;2022. https://doi.org/10.1155/2022/6214470

9. Al-Hilphy ARS, Ali HI. Milk flash pasteurization by the microwave and study its chemical, microbiological and thermo physical characteristics. Journal of Food Processing and Technology. 2013;4(7).

10. Roy J, Latif UI, Mujnibeen MSA, Kabir MS, Islam MI, Alam KS. Effect of microwave heat treatment on the quality of milk. International Journal of Recent Scientific Research. 2017;8(9):19766–19771.

11. Al-Hilphy ARS. Designing and manufacturing of a non thermal milk pasteurizer using electrical field. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 2013;8(3):204–211. https://doi.org/10.3844/ajabssp.2013.204.211

12. Shabbir MA, Ahmed H, Maan AA, Rehman A, Afraz MT, Iqbal MW, *et al.* Effect of non-thermal processing techniques on pathogenic and spoilage microorganisms of milk and milk products. Food Science and Technology. 2021;41(2):279–294. https://doi.org/10.1590/fst.05820

13. Riazantseva KA, Sherstneva NE. Traditional and innovative uses of ultraviolet treatment in the dairy industry. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):390–406. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2372

14. Başaran A, Yilmaz T, Çivi C. Energy and exergy analysis of induction-assisted batch processing in food production: a case study – strawberry jam production. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2020;140:1871–1882. https://doi.org/10.1007/s10973-019-08931-0

15. Başaran A, Yılmaz T, Azgın ŞT, Çivi C. Comparison of drinking milk production with conventional and novel inductive heating in pasteurization in terms of energetic, exergetic, economic and environmental aspects. Journal of Cleaner Production. 2021;317. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128280

16. Razak ARA, Ibrahim NM, Rahman ASF, Fayzul M, Azizan MM, Hashim U, *et al.* Induction heating as cleaner alternative approach in food processing industry. Journal of Physics: Conference Series. 2021;1878. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1878/1/012053

17. Wu S, Yang N, Jin Y, Li D, Xu Y, Xu X, *et al.* Development of an innovative induction heating technique for the treatment of liquid food: Principle, experimental validation and application. Journal of Food Engineering. 2020;271. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109780

18. Soloviev SV, Morozov VV, Radkevich EV, Kartashov LP, Makarovskaya ZV. Rationale of parameters of constructive elements of an induction heater for pasteurizing milk in a stream. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019;75(1):100–103. (In Russ.). [Обоснование параметров конструктивных элементов индукционного нагревателя для пастеризации молока в потоке / С. В. Соловьёв [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. Т. 75. № 1. С. 100–103.]. https://www.elibrary.ru/YXZMVV

19. Kazakov RA, Darda IV, Zvolinskiy VP. Main ideas of theoretical analysis of theoretical analysis of ecology efficiency of metallurgical enterprises. Modern Problems of Science and Education. 2012;(4). (In Russ.). [Казаков Р. А., Дарда И. В., Зволинский В. П. Основы теоретического анализа энергетической и экологической эффективности металлургических предприятий // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4.]. https://www.elibrary.ru/PBIQVX

20. Başaran A, Yılmaz T, Çivi C. Application of inductive forced heating as a new approach to food industry heat exchangers. A case study – Tomato paste pasteurization. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2018;134:2265–2274. https://doi.org/10.1007/s10973-018-7250-7

21. Bejan A. Fundamentals of exergy analysis, entropy generation minimization, and the generation of flow architecture. International Journal of Energy Research. 2002;26(7):545–565. https://doi.org/10.1002/er.804

22. Bagaev AA, Bobrovskiy SO. Results of simplified mathematical modeling of liquid temperature distribution in the heat exchange channel of an electric heater with an internal heat source. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021;204(10):117–122. (In Russ.). https://doi.org/10.53083/1996-4277-2021-204-10-117-122

23. Increasing the thermal stability of milk: A solution for lower labor costs and better products [Internet]. [cited 03 Oct 2022]. Available from: https://ssnab.ru/news/povyshenie-termoustoychivosti-moloka-reshenie-pozvolyayushchee-sokratit-trudozatraty-i-proizvodit-ka

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2432
https://elibrary.ru/UUUSRS

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Качество и безопасность продукции в процессе хранения в системе «вино – упаковка, укупорка»

Л. Э. Чемисова, Н. М. Агеева, Е. Н. Якименко*

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

Поступила в редакцию: 02.08.2022
Принята после рецензирования: 24.10.2022
Принята к публикации: 08.11.2022

**Е. Н. Якименко: yakimenko_elena@list.ru, https://orcid.org/0000-0002-6062-8890*
Л. Э. Чемисова: https://orcid.org/0000-0001-9377-5515
Н. М. Агеева: https://orcid.org/0000-0002-9165-6763

© Л. Э. Чемисова, Н. М. Агеева, Е. Н. Якименко, 2023

Аннотация.
Нарушение показателей качества и безопасности вина в процессе хранения зачастую является следствием влияния упаковочных средств. Необходимость сохранения и пролонгирования стабильности основных характеристик готовой продукции в течение длительного хранения предусматривает изучение процессов, протекающих в винах в различных упаковках с использованием разных видов укупорки и приводящих к негативным последствиям.
В работе исследовано 56 образцов белых и красных сухих вин, разлитых в четыре типа упаковок, при хранении в течение 18 месяцев. Оценку действия синтетических и натуральных укупорочных средств проводили на модельных системах, имитирующих основной состав вина и подготовленных согласно требованиям ЕАЭС. Исследование содержания свободного SO_2 в винах и измерение концентрации растворенного кислорода, а также микробиологическое состояние натуральных корковых пробок осуществляли стандартными методами. Анализ летучих веществ проводили методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией в сочетании с твердофазной микроэкстракцией.
В результате исследования зафиксировали критичные изменения качества винной продукции, характеризующиеся появлением маркеров окисления в количестве, которое превышает порог восприятия в белых винах, и снижением концентрации свободного диоксида серы ниже 10 мг/дм^3 в белых и красных винах. Данные изменения в бутылках из полиэтилентерефталата происходили через 12 месяцев хранения, в многослойных пакетах и упаковках из комбинированных материалов – через 18 месяцев. Выявили переход компонентов натуральных и искусственных пробок микробиального и химического происхождения в модельные системы через 10 суток контакта. Отметили превышение допустимого уровня микробиологического загрязнения в 2 раза. Миграция микробиальных и химических веществ в вино приводит к нарушению его качества и безопасности.
Установлено влияние типа упаковки на окислительные процессы, протекающие в белых и красных сухих винах при хранении и характеризующиеся варьированием концентраций растворенного кислорода и диоксида серы. Полученные результаты рекомендовано учитывать при выборе типа упаковки и укупорки относительно наименования вина и условий его последующего оборота. Предложено ограничить срок годности вин в альтернативных видах упаковок.

Ключевые слова. Упаковка, укупорка, вино, миграция, кислород, окисление, качество, безопасность

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения Государственного задания № 0498-2022-0007.

Для цитирования: Чемисова Л. Э., Агеева Н. М., Якименко Е. Н. Качество и безопасность продукции в процессе хранения в системе «вино – упаковка, укупорка» // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 281–293. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2432

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2432
https://elibrary.ru/UUUSRS

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Quality and Safety of Wine during Storage: Packaging and Stopper

Larisa E. Chemisova, Natalia M. Ageyeva, Elena N. Yakimenko*

North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking, Krasnodar, Russia

Received: 02.08.2022
Revised: 24.10.2022
Accepted: 08.11.2022

**Elena N. Yakimenko: yakimenko_elena@list.ru, https://orcid.org/0000-0002-6062-8890*
Larisa E. Chemisova: https://orcid.org/0000-0001-9377-5515
Natalia M. Ageyeva: https://orcid.org/0000-0002-9165-6763

© L.E. Chemisova, N.M. Ageyeva, E.N. Yakimenko, 2023

Abstract.
Poor packaging often affects the quality and safety indicators of wine during storage. The need to preserve and prolong wine stability during long-term storage requires a comprehensive study of processes that occur in wines packaged and capped in various ways.

This research featured 56 samples of white and red dry wines, which were bottled in four types of packages and stopper for 18 months. The effect of synthetic and natural stopper methods involved a model system that simulated the main composition of wine in line with the EAEU standards. The contents of free SO_2 and dissolved oxygen, as well as the microbiology of natural corks, were studied using standard methods. The analysis of volatile substances relied on gas chromatography, mass spectrometry, and solid phase micro-extraction.

The study recorded critical changes in the quality of wine products, characterized by increased oxidation markers and low free sulfur dioxide, which fell below 10 mg/dm^3. In polyethylene terephthalate bottles, these changes occurred after 12 months of storage, while it took them 18 months to develop in multilayer bags and combined packaging materials. The components of natural and artificial plugs of microbial and chemical origin entered the model systems after 10 days of contact. The microbiological contamination was twice as high as the permissible level. The migration of microbial and chemical substances into the wine samples spoiled their quality and safety.

The effect of packaging on the oxidative processes in white and red dry wines during storage resulted in different concentrations of dissolved oxygen and sulfur dioxide. The results can help wine producers to choose the most appropriate packaging and stopper means depending on the wine sort and its subsequent storage conditions. Alternative types of packaging proved to have a limited shelf life.

Keywords. Packaging, stopper, wines, migration, oxygen, oxidation, quality, safety

Funding. The research was part of State Task No. 0498-2022-0007.

For citation: Chemisova LE, Ageyeva NM, Yakimenko EN. Quality and Safety of Wine during Storage: Packaging and Stopper. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):281–293. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2432

Введение

Производство качественных вин в РФ сосредоточено в Южном федеральном округе, являющимся крупнейшей сырьевой базой для производства винодельческой продукции. Важной и актуальной проблемой не только в России, но и в мире является сохранение и пролонгация качества и безопасности вин. Эта проблема обуславливается не только качеством сырья, из которого изготовлен продукт, но и качеством упаковочных и укупорочных средств, с которыми готовый продукт может контактировать длительное время, вплоть до его потребления.

В последнее время отмечена тенденция использования для розлива вин альтернативных видов упаковок, таких как бутылки из полиэтилентерефталата (рис. 1), упаковки из комбинированных материалов (рис. 2) и комплексные упаковки «пакет в коробке» (далее многослойные пакеты) различных форм и размеров. Кроме того, в целях удешевления себестоимости, а также из-за санкционных обстоятельств классические стеклянные бутылки укупориваются искусственными укупорочными средствами вместо натуральной корковой пробки.

Рисунок 1. Химическое строение бутылки из полиэтилентерефталата

Figure 1. Chemical structure of a polyethylene terephthalate bottle

Рассматриваемые альтернативные упаковки имеют преимущества перед стеклянной бутылкой: небольшой вес и преодоление «хрупкости». Это важно при транспортировании готовой продукции, особенно на дальние расстояния. Упаковки из комбинированных материалов и пакеты обеспечивают хорошую защиту вина от солнечных лучей за счет своей многослойности. Бутылки из полиэтилентерефталата имеют ценовое преимущество перед остальными упаковками, что позволяет удешевить себестоимость продукции, не экономя на качестве вина.

Регламентируемые условия хранения применимы для вин в стеклянных бутылках, а для продукции, разлитой и хранящейся в других видах потребительской упаковки, требуются особые условия хранения, а также новые, объективно установленные и подтвержденные сроки годности. Обоснованные научные данные по изменению показателей безопасности и качества вин относительно вида упаковки и укупорки отсутствуют. Данный факт усугубляется тем, что вино является агрессивной жидкой пищевой средой, способной активно взаимодействовать с различными поверхностями.

Влияние особенностей таких упаковок на изменение химического состава и органолептических характеристик вин, а также их устойчивость против помутнений еще не изучены.

Исследования, выполненные французскими учеными, доказали, что вино в полимерной упаковке приобретает посторонние запахи, идентифицируемые как «пластмасса» [1]. Существует еще одна проблема, касающаяся всех указанных упаковок, – это возможность перехода веществ упаковки в продукцию.

Ученые [2, 3] отметили главное свойство упаковки – это взаимодействие между упаковкой и содержимым, а качество упаковки для напитков зависит от степени обмена веществами между упаковкой и напитком или между внешней средой и напитком. Таким образом, при контакте продукта с упаковочными и укупорочными средствами можно выделить следующие процессы:

– пермеация, т. е. проникновение веществ из внешней среды через упаковку в напиток или наоборот;
– миграция, т. е. переход компонентов упаковки в напиток;
– абсорбция, т. е. проникновение веществ напитка в структуру упаковки.

Кроме проблем с упаковкой, острой и актуальной темой является укупорка. Производители вина используют различные виды пробок: натуральные и искусственные. Винодельческие заводы стараются использовать для розлива своей продукции пробку, изготовленную из пробкового дерева. Учитывая тот факт, что пробковый дуб произрастает в Португалии, производство такой пробки сосредоточено в границах этой страны, т. е. вся корковая пробка, используемая в России, является ввозимой. Условия транспортирования и хранения такой пробки нарушаются, из-за чего происходит снижение или даже потеря качества. Кроме того, стоимость этих пробок очень высока из-за используемого при изготовлении сырья.

Кора дуба – уникальный природный материал, соединяющий в себе такие свойства, как гидрофобность, шумоизоляция и способность восстанав-

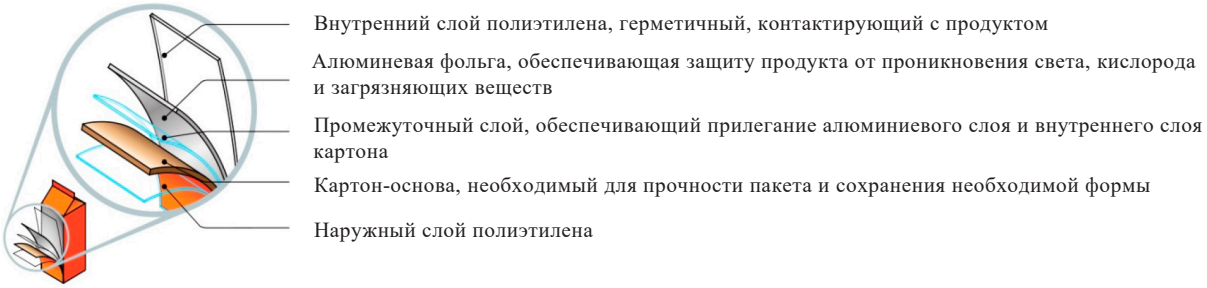


Рисунок 2. Внутреннее строение упаковки из комбинированных материалов

Figure 2. Internal structure of combined packaging

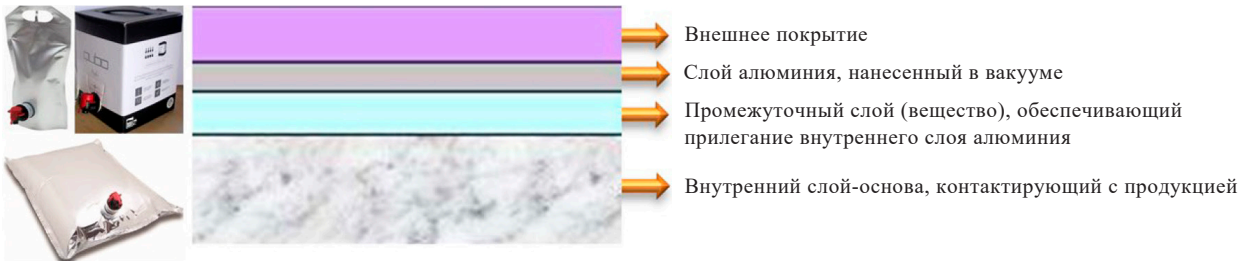


Рисунок 3. Внутреннее строение многослойного пакета комплексной упаковки

Figure 3. Internal structure of multi-layer complex packaging

Рисунок 4. Сканирующая электронная микроскопия поперечного сечения пробки *Quercus suber*

Figure 4. Cork (*Quercus suber*): electron microscopy

ливать форму после деформации за счет микропористой структуры, сформированной по принципу сот (рис. 4) [3].

В связи с этим винодельческим предприятиям очень часто приходится сталкиваться с проблемой некачественной корковой пробки. Укупоривание бутылок с готовой продукцией такими пробками приводит к забраковке вин из-за нарушения их качества, розливостойкости и безопасности [4–6].

Однако существует множество мнений по поводу необходимости укупорки винодельческой продукции корковыми пробками [7–9]. Одни авторы считают, что такой изысканный напиток, особенно вина премиум-класса, должен укупориваться только натуральной (цельной) корковой пробкой, способной сохранять и даже улучшать качество продукции в процессе хранения [5, 6, 8, 9]. Другие специалисты, ссылаясь на дефекты и порчу вин (посторонние тона во вкусе и аромате, потеря внешнего вида), возникающие из-за использования корковых пробок, считают, что лучше для этих целей подойдут альтернативные виды укупорки в виде пробок из других материалов, не содержащих в себе негативных веществ и не привносящих в готовый напиток компонентов, приводящих к забраковке вин [5, 7, 10]. Консенсус по этому противоречию так и не достигнут.

Хранение (созревание) вина сопровождается рядом физико-химических процессов, при которых химические компоненты вина претерпевают изменения за счет постоянно протекающего процесса газообмена. Некоторые из них приводят к желаемой эволюции вина – оно становится более сложным, округлым и сбалансированным. Однако могут произойти неожиданные изменения, связанные с преждевременным окислением вина, возникающим в том случае, когда вино, предположительно с потенциалом старения, окисляется и становится непригодным для питья [11]. Сложность преждевременного окисления вина, в котором также задействованы ароматические вещества, затрудняет идентификацию всех продуктов окисления и прогнозирование их появления в винах. Несмотря на то что большинство исследований было сосредоточено на изучении влияния времени после розлива вина в бутылки и на явлениях изменения цвета, идентификация маркеров изменения цвета и корреляция между маркерами и укупорочными средствами винных бутылок все еще неизвестны.

Эти явления сложны и включают изменения ароматических соединений, приводящие к образованию нескольких продуктов окисления, которые трудно идентифицировать [12, 13]. Поскольку такие условия, как окислительно-восстановительные реакции, температура, наличие кислорода, величина pH и наличие света, влияют на скорость окисления вина, то научные исследования последних лет были сосредоточены на определенных вопросах, которые играют важную роль в системе хранения и выдержки (созревании) вина. Например, упаковка и укупорка бутылок с вином, а также трансформация ароматобразующих компонентов.

Вопросы, связанные с упаковочными и укупорочными средствами вина, представляют большой интерес для проведения более глубоких исследований взаимодействия их компонентов и химических реакций, происходящих в напитке.

Исследования механизмов процессов, происходящих в винах после их розлива в различные виды упаковок, позволят прояснить факторы, ответственные за нарушение качества и сокращение срока хранения вина.

Оценка роли окислительных и биохимических процессов, протекающих в системе вино – упаковка – укупорка – хранение даст более полное представление о миграции компонентов различных видов упаковочных и укупорочных средств, а также последствий пермеации и абсорбции.

Объекты и методы исследования

В исследовании был задействован следующий комплекс объектов:

1. Образцы белых и красных сухих вин в количестве 56 штук одной даты изготовления, разлитые в четыре типа упаковок: бутылку из полиэтилентерефталата, упаковку из комбинированных материалов, комплексную упаковку «пакет в коробке» (многослойный пакет) и стеклянную бутылку, укупоренную стеклянной пробкой (по семь образцов каждого наименования вин в четырех исследуемых упаковках);

2. Укупорочные средства, взятые для опыта, были представлены натуральными корковыми пробками различных типов (натуральная, кольматированная, агломерированная и сборная) и синтетическими пробками;

3. Модельные системы (среды), используемые для экстрагирования компонентов укупорочных средств, в соответствии с требованиями Евразийского экономического союза (ТР ТС 005/2011), имели следующий состав: 20 % раствор этилового спирта и 2 % раствор лимонной кислоты.

Контроль органолептических показателей (ГОСТ 32051-2013) и массовой концентрации диоксида серы (ГОСТ 32115-2013) в опытных образцах вин осуществляли в соответствии с общепринятыми методами, изложенными в межгосударственных стандартах.

Пробоподготовку для исследования укупорочных материалов осуществляли путем контакта укупорочных средств с модельными средами. Прожительность контакта устанавливалась в зависимости от условий эксплуатации укупорочных средств с некоторой аггравацией, в соответствии с требованиями Евразийского экономического союза (ТР ТС 005/2011), и составляла не менее 10 суток.

Микробиологические исследования состояния натуральных корковых пробок проводили по стандартизованному методу (ГОСТ ISO 10718-2018). Подсчет колониеобразующих единиц дрожжей, плесеней и бактерий осуществляли в соответствии с межгосударственным стандартом (ГОСТ ISO 7218-2015).

Содержание растворенного кислорода в вине определяли автоматически анализатором кислорода (оксиметром), оснащенным датчиком LDO [13]. Его опускали в специальный стакан, входящий в комплектацию прибора, при температуре окружающей среды 20 °С и проводили прямое определение концентрации с выведением на табло прибора результата испытания.

Летучие компоненты, выделяющиеся из упаковок и пробок (натуральных и искусственных), определяли методом хромато-масс-спектрометрии. Летучие соединения экстрагировали твердофазной экстракцией следующим образом: в 25 см^3 образца (вино или модельная среда) добавляли 5 г сульфата аммония и 0,25 см^3 внутреннего стандарта (0,1 % раствор 2-гептанола и циклогексанола). Смесь пропускали через предварительно подготовленный патрон ISOLUTE C18/ENV+, затем его высушивали путем пропускания кислорода воздуха при комнатной температуре с последующим извлечением экстракта из патрона смесью метиленхлорида и этилацетата в пропорции 1:1. В полученный экстракт добавляли безводный сульфат натрия, перемешивали до полного его растворения и концентрировали до 0,5 см^3 в потоке азота (0,5 см^3/мин). Образец объемом 0,01 см^3 вводили в газохроматографическую систему.

При проведении анализа был использован газовый хроматограф Clarus 600 (PerkinElmer) с масс-спектрометрическим детектором (MS) и капиллярной колонкой Elite-Wax ETR (50 м×внутренний диаметр 0,32 мм, толщина пленки 1,0 мкм, PerkinElmer). Гелий выступал в качестве газаносителя при скорости потока 1,0 см^3/мин. Впрыск производился в безразделительном режиме при температуре инжектора 280 °С. Температуру печи колонки поддерживали на уровне 100 °С в течение 1 мин, затем ее повышали до 230 °С со скоростью 10 °С/мин и до 270 °С со скоростью 10 °С/мин; выдерживали 2 мин, далее запрограммировали на 300 °С при скорости 25 °С/мин с окончательным временем выдержки 30 мин. Спектры регистрировали в режиме электронного удара (энергия ионизации 70 эВ).

Идентификация летучих соединений была достигнута путем сравнения масс-спектров с данными библиотеки системы NIST (P > 90 %), а также индексов удерживания с опубликованными данными. Испытания проводились для каждого наименования вина с учетом различных упаковок и для модельных систем после контакта с укупорочными средствами.

Результаты и их обсуждение

Длительное сохранение качества вина связано с появлением приятных вкусовых нот, возникающих из-за свойств винограда, ферментирующих дрожжей и возможных ароматобразующих соединений, переходящих из бочек во время выдержки, а также их дальнейшей трансформацией в процессе хранения и созревания в упаковке. Потеря многих обонятельных нот в процессе хранения – естественное явление, ограничивающее сроки созревания и хранения вина. Многие ароматические вещества, такие как терпены

и сложные эфиры, нестабильны и разлагаются из-за кислотности вина, особенно при хранении при высокой температуре [10, 14]. Однако некоторые физические и химические факторы могут сократить срок хранения вина до нескольких месяцев или недель, когда подобные обонятельные дефекты быстро возникают в результате окислительных явлений. Они связаны с чрезмерным воздействием на вино кислорода [13]. Кроме того, на ухудшение ароматических свойств влияют различия в проницаемости для кислорода между разными типами упаковочных средств [13, 14].

Сохранение качества вина в процессе хранения зависит от содержания в нем кислорода, которым оно «насытилось» при розливе и упаковке, а также от его устойчивости к окислению [14, 15].

В вине, разлитом в бутылки, после укупорки содержится кислород из исходного наливного вина, кислород в свободном пространстве пустой бутылки, оставшийся после любой промывки газом или применения вакуума во время укупорки, и кислород внутри укупорочного средства с ячеистой структурой (если оно использовалось) (рис. 5). Последний кислород со временем будет перемещаться, причем одна его часть ускользает из бутылки в окружающую среду, а другая попадает внутрь. Со временем может быть установлено устойчивое проникновение. Скорость проникновения кислорода, диоксида серы (SO_2) и диоксида углерода через упаковку, включая пробку, влияет на срок годности как упакованных пищевых продуктов, так и напитков в бутылках, т. е. способствует или ограничивает окисление. Соответственно, проницаемость материалов для газов играет фундаментальную роль как средство оценки и прогнозирования изменения качества упакованной продукции.

Поток кислорода, который может пройти через упаковку, оценивается как скорость передачи кислорода за 24 ч. Этот параметр зависит как от толщины материала, так и от градиента парциального давления между атмосферой внешней среды и свободным пространством упаковки.

Кислород играет важную роль в виноделии, т. к. его избыток может привести к органолептическим изменениям, заключающимся в искажении аромата, деградации антоцианов и пигментов, отвечающих за цвет вина, и появлении коричневых осадков конденсированного фенольного вещества.

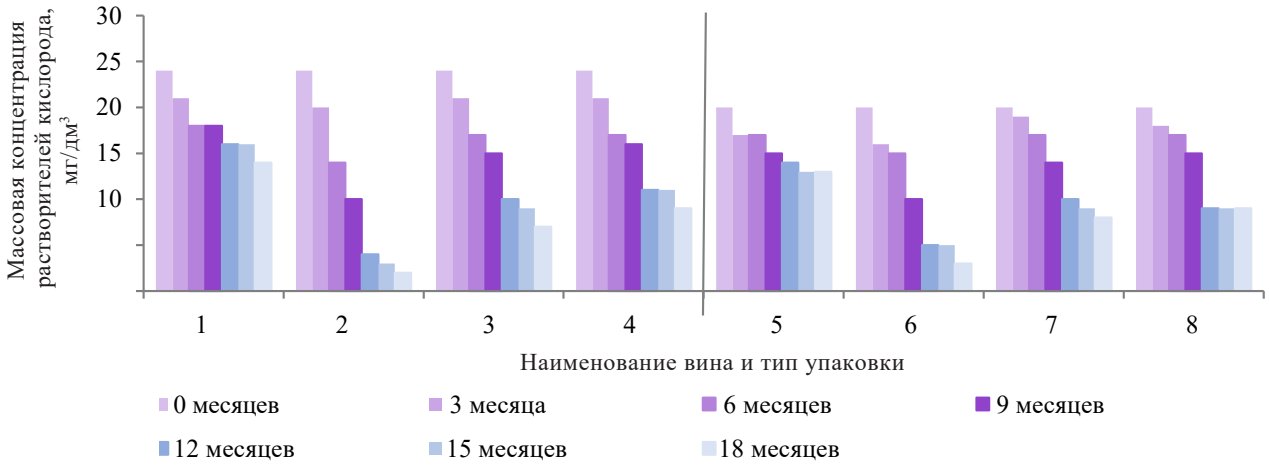
В связи с этим авторами (впервые) проведены сравнительные исследования количества растворенного кислорода в вине в различных упаковках (стеклянная бутылка, укупоренная стеклянной пробкой, бутылка из полиэтилентерефталата, упаковка их комбинированных материалов и многослойные пакеты) на протяжении 18 месяцев в общепринятых условиях хранения (ГОСТ 32061-2013) при температуре от 5 до 20 °С. В результате

Рисунок 5. Пути попадания кислорода в вино при розливе и хранении: 1 – проникновение через поры пробки; 2 – диффузия на границе между укупорочным средством и бутылкой; 3 – кислород, выдавленный из укупорочного средства во время сжатия при укупорке бутылки

Figure 5. Oxidation during bottling and storage: 1 – through cork pores; 2 – diffusion between the cork and the bottle; 3 – oxygen squeezed out of the cork during stopper

установлено (рис. 6), что количество кислорода в течение первых трех месяцев быстро уменьшалось для всех рассматриваемых упаковок и составило 1,49–1,89 мг/дм^3 для белых вин (при начальном содержании 2,03 мг/дм^3) и 0,99–1,31 мг/дм^3 для красных (при начальном 1,89 мг/дм^3). К шести месяцам хранения содержание растворенного кислорода в белых винах в бутылках из полиэтилентерефталата превысило исходное значение и составило 2,43 мг/дм^3. Рассматривая красные вина в аналогичной упаковке за тот же период (6 месяцев), можно отметить, что концентрация растворенного кислорода увеличилась до 1,69 мг/дм^3, но не превысила изначальную. Можно предположить, что в красных винах за счет большего, по сравнению с белыми винами, содержания естественных антиоксидантов происходит «сдерживание» процесса окисления.

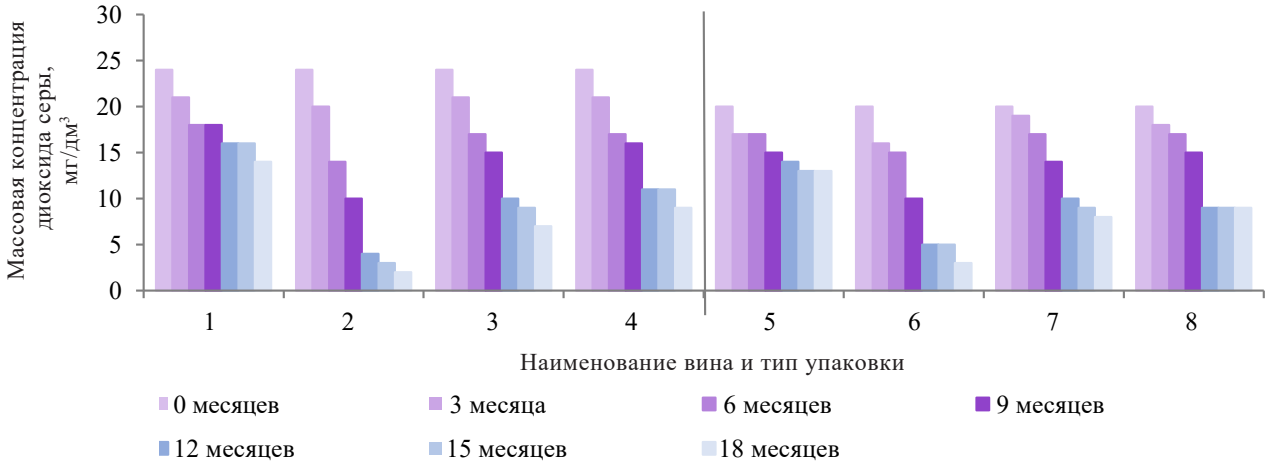
Что касается остальных альтернативных упаковок, то по истечении 12-ти месячного хранения концентрация кислорода, превышающая изначальную, была отмечена в винах в многослойных пакетах и упаковках из комбинированных материалов. Через 18 месяцев хранения наибольшая концентрация растворенного кислорода была в вине в бутылках из полиэтилентерефталата (в белых винах – 3,97 мг/дм^3, в красных – 3,62 мг/дм^3). Вина в бутылках из стекла со стеклянной пробкой содержали наименьшее количество растворенного кислорода, которое для белых вин составило 1,62 мг/дм^3, для красных – 1,18 мг/дм^3. Стеклянная бутылка наилучшим образом предохраняла вина от доступа кислорода.



1 – Сухое белое в стеклянной бутылке; 2 – Сухое белое в бутылке из полиэтилентерефталата; 3 – Сухое белое в многослойном пакете; 4 – Сухое белое в упаковке из комбинированных материалов; 5 – Сухое красное в стеклянной бутылке; 6 – Сухое красное в бутылке из полиэтилентерефталата; 7 – Сухое красное в многослойном пакете; 8 – Сухое красное в упаковке из комбинированных материалов

Рисунок 6. Изменение концентрации растворенного кислорода в вине на протяжении 18 месяцев хранения в зависимости от упаковки

Figure 6. Dissolved oxygen in wine after 18 months of storage in different packaging



1 – Сухое белое в стеклянной бутылке; 2 – Сухое белое в бутылке из полиэтилентерефталата; 3 – Сухое белое в многослойном пакете; 4 – Сухое белое в упаковке из комбинированных материалов; 5 – Сухое красное в стеклянной бутылке; 6 – Сухое красное в бутылке из полиэтилентерефталата; 7 – Сухое красное в многослойном пакете; 8 – Сухое красное в упаковке из комбинированных материалов

Рисунок 7. Изменение концентрации свободного диоксида серы в вине на протяжении 18 месяцев хранения в зависимости от упаковки

Figure 7. Free sulfur dioxide in wine after 18 months of storage in different packaging

Диоксид серы (SO_2) является широко используемым в виноделии антиоксидантом, предотвращающим потемнение вина, в том числе из-за окисления его компонентов. Помимо этого, он обладает антимикробными и антибактерицидными свойствами, а также другими важными функциями. Как правило, в винах содержание свободного SO_2 варьируется в пределах 20–30 мг/дм³. Если его концентрация упадет ниже 10 мг/дм³, то белое вино подвергнется быстротечному окислению [16].

В ходе проведенных исследований (рис. 7) концентрация свободной формы SO_2 начала снижаться как в белых, так и в красных винах к 12 месяцам хранения. Однако уровень ниже 10 мг/дм³ был отмечен только в винах в бутылках из полиэтилентерефталата. Уменьшение содержания свободного диоксида серы ниже допустимых уровней порядка 3–9 мг/дм³

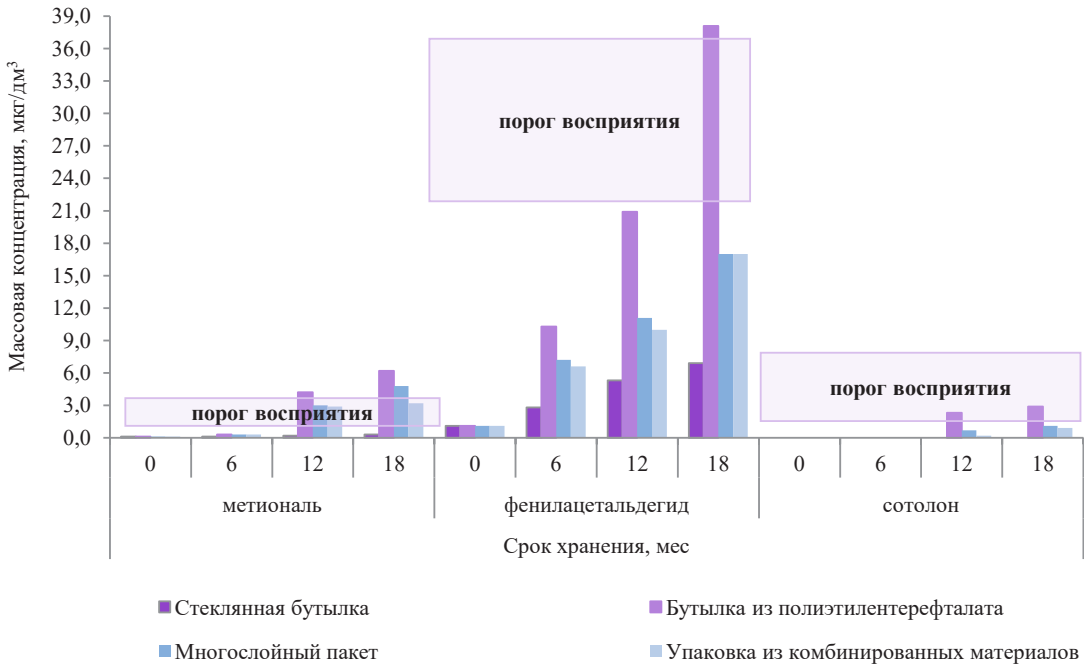


Рисунок 8. Изменение концентрации альдегидов – маркеров окисления в белом вине на протяжении 18 месяцев хранения в зависимости от упаковки

Figure 8. Aldehyde oxidation markers in white wine after 18 months of storage in different packaging

для вин в остальных упаковках (кроме стеклянной бутылки) происходило к 15 месяцам хранения, что подтверждает активность процесса переноса кислорода в эти типы упаковки. Уровень SO_2 в винах в стеклянных бутылках через 18 месяцев хранения не опустился ниже 13 мг/дм^3. Соответственно, стеклянная бутылка в сочетании со стеклянной пробкой является наилучшим барьером проникновения кислорода в вино в процессе длительного хранения.

Необходимо отметить, что характер изменения концентрации растворенного кислорода и свободного диоксида серы как в белых, так и красных винах, был одинаковым и взаимно противоположным относительно друг друга, но в вариантах с красными винами процесс окисления был менее выражен. Это объясняется их высокими природными антиоксидантными свойствами по сравнению с белыми винами [16, 17].

В результате изучения эволюции профиля ароматических компонентов белых вин в рассматриваемых упаковках впервые установлено, что вина в бутылках из полиэтилентерефталата начинали интенсивно накапливать маркеры окисления (метиональ, фенилацетальдегид и сотолон) уже на 6 месяце хранения. Контроль этих альдегидов через 12 месяцев хранения показал их увеличение и в других альтернативных упаковках (многослойный пакет и комбинированный материал). Через 18 месяцев белые вина во всех упаковках, за исключением стеклянной бутылки, содержали маркеры окисления выше порога их восприятия: метиональ в бутылке из полиэтилентерефталата – 6,2 мкг/дм^3, в многослойном пакете – 4,8 мкг/дм^3, в упаковке из комбинированных материалов – 3,2 мкг/дм^3 (порог восприятия от 1,0 до 3,0 мкг/дм^3); фенилацетальдегид – 38,0, 17,0 и 17,0 мкг/дм^3 соответственно (порог от 15,0 до 25,0 мкг/дм^3); сотолон – 2,9, 1,1 и 0,9 мкг/дм^3 соответственно (порог от 1,0 до 5,0 мкг/дм^3) (рис. 8) [17, 18]. Такие вина будут забракованы по органолептическим показателям.

Помимо этого, в белых винах, разлитых в бутылки из полиэтилентерефталата, выявлено появление в более высоких концентрациях (свыше 50 мг/дм^3) легкоокисляющихся и вызывающих старение вина ароматических соединений, таких как этилпируват, фурфурол и диоксаны. Это негативно сказывается на аромате и вкусе вин.

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных можно утверждать, что в процессе хранения вин на протяжении 18 месяцев первичное и выраженное ухудшение качества происходит из-за протекания окислительных процессов с участием кислорода, проникающего через упаковку, а не диффузии фталатов из нее. Соответственно, использование бутылок из полиэтилентерефталата для белого вина может предусматривать только кратковременное хранение – не более

Рисунок 9. Модельные растворы после 24 часового контакта с образцами корковых пробок

Figure 9. Model solutions after 24 h of contact with cork samples

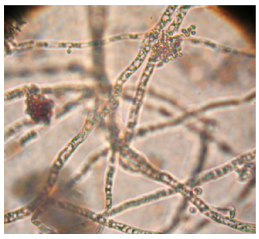


Рисунок 10. Конидии плесени, выделенные из модельных сред после контакта с корковыми пробками

Figure 10. Mold conidia isolated from model media after contact with corks

a

b

c

d

Рисунок 11. Мелкодисперсная агломерированная пробка, извлеченная из бутылки через 3 недели после укупорки: a и b – разбухание гранул пробки на поверхности соприкосновения с вином; c – капиллярность – проникновение продукции в слои пробки; d – микробиологический снимок включений в вине клеевого вещества

Figure 11. Finely dispersed agglomerated cork removed from the bottle 3 weeks after stopper: a, b – swelling of cork granules on the contact surface with wine; c – capillarity and penetration of wine into cork; d – microbiological inclusions of adhesive substance in wine

12 месяцев, а в многослойных пакетах и упаковках из комбинированных материалов – не более 18 месяцев.

Исследования последних лет касательно укупорочных корковых средств свидетельствуют о постоянном и планомерном ухудшении качества корковых пробок, поступающих на российский рынок [18–20]. Такие виды пробок, как агломерированные, в том числе мелкодисперсные и сборные, которые изготавливаются из отходов производства натуральных пробок с добавлением клея, отвечают заданным требованиям, но рассчитаны на укупорку вин с небольшим сроком хранения (2–5 лет). Однако эти виды пробок исключают возможность «дыхания» вин, а при более длительном сроке «пребывания в бутылке» происходит частичное или полное их разрушение.

Микробиологические исследования корковых пробок показали, что уже в процессе подготовки проб проявляются дефекты внешнего вида в виде глубоких трещин по всей поверхности, большого количества червоточин и наличия сухой прожилки.

Модельные растворы после 24 ч контакта с такими образцами приобрели желтый цвет и мутность, а также содержали большое количество хлопьевидных и пластинчатых включений (рис. 9).

Посев на твердую питательную среду выделенных в ходе исследований микроорганизмов дал рост колоний плесневых грибов (рис. 10), количество которых составило более 10 КОЕ на одну пробку, что не соответствует требованиям ГОСТ 5541-2002, т. к. полученные результаты превышают предельное значение – 4 КОЕ на одну пробку.

Использование таких пробок по назначению повлечет за собой протекание биохимических процессов при хранении, в результате которых в винах появятся помутнения и осадки, вследствие чего они будут забракованы и изъяты из оборота.

На рисунке 11a и b продемонстрировано, что уже после 21-дневного контакта на поверхности соприкосновения мелкодисперсной агломерированной пробки с вином происходит разрушение клея и разбухание гранул (раскрытие торцевой поверхности пробки). Изображение 11c позволяет оценить степень капиллярности, которая была на уровне более 2 мм через 3 недели после розлива.

Микробиологическая картина осадка, выделенного из данной бутылки, свидетельствует о наличии клеевого вещества, перешедшего в вино из мелкодисперсной агломерированной пробки (рис. 11d).

Вина, имеющие потенциал для выдержки (свыше 5 лет), рекомендуется укупоривать только натуральной пробкой, состоящей на 100 % из коры пробкового

a b

Рисунок 12. Разрез натуральной корковой пробки: a – до укупорки; b – после извлечения из бутылки

Figure 12. Cross-section of natural cork: a – before capping; b – after extraction

Рисунок 14. Результат несоответствия пробок показателям влажности и кажущейся плотности

Figure 14. Corks with bad moisture and apparent density indicators

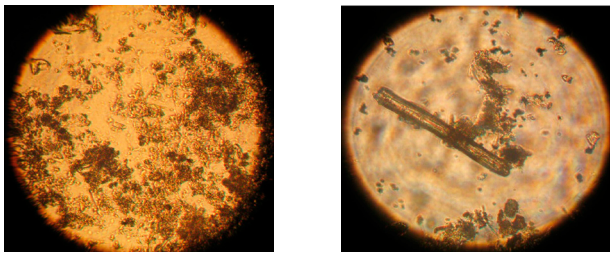


Рисунок 13. Микроскопические снимки осадков вин, содержащие частицы пыли, клеевого вещества и единичные клетки микроорганизмов, механические включения и обрывки основного и клеевого вещества корковых пробок

Figure 13. Microscopic images of wine sediments with dust particles, single microbial cells, mechanical inclusions, and cork glue

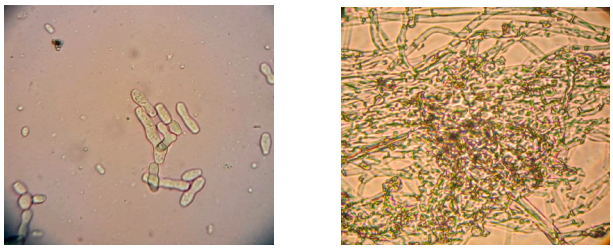


Рисунок 15. Микроорганизмы корковых пробок: a – дрожжи, b – конидии плесневых грибов

Figure 15. Microorganisms in corks: a – yeast, b – mold conidia

дуба, или кольматированной – натуральной пробкой низкого качества, прошедшей процесс кольматажа (забивку крупных пор и трещин поверхности пробки смесью пробковой «муки» и клея). Именно эти виды пробок дают возможность протекать «дыхательным» процессам укупоренным винам в процессе их хранения.

Результаты наших исследований по изучению влияния различных видов укупорочных корковых средств на вино свидетельствуют о том, что в последнее время количество забраковок продукции из-за корковых пробок возросло [21]. Испытания натуральных корковых пробок по ряду требований, изложенных в нормативных документах, показали, что основными видами несоответствий являются:

1. Нарушение требований нормативных документов относительно внешнего вида (наличие трещин и червоточин на поверхности, неплотное прилегание гранул и др.), что негативно сказывается на физическо-химических характеристиках изделия.

На рисунке 12 представлены снимки некачественной натуральной корковой пробки с выраженными дефектами внешнего вида до укупорки (a) и после извлечения из бутылки (b) с выраженной зоной капиллярности (проникновения вина в пробку).

2. Превышение норм нормативных документов по содержанию пробковой пыли, которая в процессе хранения готовой продукции способна переходить в нее и вызывать образование осадков (рис. 13).

3. Превышение установленного уровня влажности и кажущейся плотности для агломерированных и сборных пробок. Это приводит к крошению и разрушению пробки, а также к снижению и утрате укупорочных свойств. Извлечение такой пробки из бутылки может быть небезопасно из-за ее «разрыва» и возможности повреждения горлышка стеклянной бутылки (рис. 14).

4. Несоответствие по микробиологическим показателям (наличие в модельных средах) после контакта с образцами исследуемых пробок плесени и дрожжей (рис. 15).

Влияние различных укупорочных средств на состав легколетучих компонентов вина оценивали на модельной системе, за счет которой предполагалось стабилизировать потенциальные факторы влияния трансформации ароматобразующих веществ вин под воздействием компонентов, переходящих из укупорочных средств. Основные различия между пробковыми и синтетическими укупорочными средствами в полученном профиле летучих компонентов заключались в наличии в варианте с искусственными пробками бензофенона,

Рисунок 16. Различные виды искусственных пробок

Figure 16. Artificial corks

2,4-ди-трет-бутилфенола и транс-4-трет-бутилциклогексанола. Модельный раствор, контактировавший с корковыми пробками, таких веществ не содержал. Указанные вещества используются в полимерной промышленности как составляющие пластиковой упаковки или пластификатора и имеют различный класс опасности [22]. По данным [19], 4-ди-трет-бутилфенол и транс-4-трет-бутилциклогексанол впервые были идентифицированы в винах, закрытых не только синтетическими, но и корковыми микроагломерированными пробками. Это объясняется использованием большого количества клея при агломерации в процессе их изготовления.

Отрицательной составляющей, выявленной при оценке натуральных пробок на наличие трихлоранизола, стало обнаружение «трансформирующихся» или «блуждающих» тонов корковых пробок, к которым можно отнести идентифицированные гваякол (2-метоксифенол), пирокатехин (1,2-дигидроксибензол), геосмин (Октагидро-4a,8a-диметил-4a(2H)-нафталинол) и др. Эти вещества, в отличие от компонентов, переходящих из искусственных пробок, обладают интенсивными запахами, которые идентичны землистым, сыростным, подвальным и даже затхлым тонам.

На сегодняшний день рынок искусственных пробок стремительно развивается, особенно в свете санкционных событий. Предлагается огромное количество решений из различных материалов – это стекло, металл и различные полимеры (рис. 16). Но все эти пробки не дают винам возможности «дышать». Для некоторых наименований вин это является положительным фактором при условии использования стеклянной пробки, которая сводит к минимуму экстрагирование веществ собственного состава в укупоренный продукт, но она имеет высокую стоимость. Другие виды перечисленных пробок, помимо привнесения синтетических тонов и веществ в готовый продукт, вытекающих из особенностей материала из которого они изготовлены, имеют ряд недостатков. Все они рассчитаны на небольшой срок хранения вин (2–3 года). Кроме того, в варианте металлических пробок – это разрушение внутреннего покрытия и нарушение прилегания к горлышку бутылки уплотнительной прокладки. В случае использования пробок из полимеров – это разрушение верхнего покрытия самой пробки и попадание ее частиц в вино.

В связи с этим необходимо отметить, что выбор укупорочных средств должен предполагать входной контроль качества, а также быть продуман относительно наименования вина и планируемых сроков хранения.

Выводы

Установлено, что тип упаковки (материал из которого она изготовлена) влияет на окислительные процессы вина, происходящие при хранении, из-за различной проницаемости кислорода. Показано, что наибольшей проницаемостью обладала бутылка из полиэтилентерефталата, которая через 18 месяцев хранения продемонстрировала увеличение содержания кислорода в винах в 2 раза. Наилучшим барьером для доступа кислорода в вино оказалась стеклянная бутылка в варианте со стеклянной пробкой, обеспечивающая увеличение концентрации растворенного кислорода при хранении 18 месяцев (в пределах 0,1–0,2 мг/дм^3).

Установлено снижение концентрации свободного диоксида серы в процессе хранения: его содержание в винах во всех упаковках, кроме стеклобутылки (13 мг/дм^3), к 18 месяцам хранения было наименьшим и составляло 2–9 мг/дм^3. Динамика изменения концентрации диоксида серы в красных и белых винах была идентичной, но в красных винах окислительные процессы протекали менее интенсивно из-за высоких количеств естественных антиоксидантов фенольной природы.

Впервые установлено, что наибольшей концентрацией маркеров окисления белых вин обладали образцы, разлитые в бутылки из полиэтилентерефталата. Сотолон был идентифицирован к 12 месяцам хранения в белых винах в бутылках из полиэтилентерефталата – 2,3 мкг/дм^3, в многослойных пакетах – 0,7 мкг/дм^3, в упаковке из комбинированного материала – 0,2 мкг/дм^3. В стеклянных бутылках сотолон отсутствовал.

На основании проведенных исследований рекомендовано устанавливать сроки годности для сухих вин в бутылках из полиэтилентерефталата не более 12 месяцев с даты розлива, а в многослойных пакетах и упаковках из комбинированных материалов – не более 18 месяцев при стандартных условиях хранения (температура окружающей среды 5–20 °С).

Выявлено, что некачественные натуральные корковые пробки через 10 суток контакта способны обогатить среду посторонними включениями, в том числе микробиальной природы (превышение допустимого уровня микробиологического загрязнения в 2 раза), а также привнести легколетучие вещества, которые не свойственны природе вина и

потенциально опасны для человека. Искусственные укупорочные средства за тот же период времени насыщают модельную систему химическими веществами, способствующими нарушению показателей качества и безопасности вина.

Полученные результаты позволили выделить компоненты, наличие которых необходимо учитывать при выборе упаковки, включая укупорку, в зависимости от наименования вина, предполагаемого срока хранения и/или способа распространения.

Дальнейшие исследования в данном направлении позволят снизить риск отрицательного влияния упаковочных и укупорочных средств на продукцию, установить оптимальные условия хранения вин в альтернативных видах упаковок и гарантировать потребителю качественные и безопасные вина.

Критерии авторства

Л. Э. Чемисова – разработала концепцию исследования, осуществляла проведение научного эксперимента и систематизацию полученных данных. Н. М. Агеева – осуществляла консультации в ходе эксперимента и предложила алгоритм систематизации данных, выполнила коррекцию рукописи до ее подачи в редакцию. Н. М. Якименко – провела обзор литературных источников по исследуемой проблеме и коррекцию рукописи до ее подачи в редакцию. Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

L.E. Chemisova developed the research concept, performed the experiment, and systematized the data. N.M. Ageyeva provided scientific consultations, proposed an algorithm of data systematization, and proofread the manuscript. N.M. Yakimenko reviewed the literature and proofread the manuscript. All the authors equally took part in the research and are equally responsible for any potential plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Reynolds D, Rahman I, Bernard S, Holbrook A. What effect does wine bottle closure type have on perceptions of wine attributes? International Journal of Hospitality Management. 2018;75:171–178. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2018.05.023

2. Boutros M, Saba S, Manneha R. Life cycle assessment of two packaging materials for carbonated beverages (polyethylene terephthalate vs. glass): Case study for the lebanese context and importance of the end-of-life scenarios. Journal of Cleaner Production. 2021;314. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128289

3. Kryuk RV, Kurbanova MG, Kolbina AYu, Plotnikov KB, Plotnikov IB, Petrov AN, *et al.* Color sensors in smart food packaging. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):321–333. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2366

4. Chemisova LE. Mechanisms of cortical cork influence the biotechnological processes taking place during storage and wine maturation. Fruit Growing and Viticulture of South Russia. 2021;(68):332–354. (In Russ.). https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-2-68-332-354

5. Suffo M, Sales DL, Cortés-Triviño E, de la Mata M, Jiménez E. Characterization and production of agglomerated cork stoppers for spirits based on a factor analysis method. Food Packaging and Shelf Life. 2022;31. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100815

6. Sánchez-González M, Pérez-Terrazas D. Dataset of mechanical properties from different types of wine stopper: Micro-agglomerated, natural cork and synthetic. Data in Brief. 2018;21:2103–2109. https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.11.051

7. Jackson RS. Sensory perception and wine assessment. In: Jackson RS, editor. Wine science. Principles and applications. A volume in food science and technology. Academic Press; 2020. pp. 883–945. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816118-0.00011-8

8. Wine flaws: Cork taint and TCA [Internet]. [cited 2022 Jul 10]. Available from: https://www.winespectator.com/articles/wine-flaws-cork-taint-and-tca-3346

9. Crouvisier-Urion K, Bellat J-P, Gougeon RD, Karbowiak T. Mechanical properties of agglomerated cork stoppers for sparkling wines: Influence of adhesive and cork particle size. Composite Structures. 2018;203:789–796. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.06.116

10. Ageyeva NM, Shirshova AA, Tikhonova AN. Influence of alcoholic and malolactic fermentation on the level of biogenic amines in wine. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):449–457. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-449-457

11. Catania A, Lerno L, Sari S, Fanzone M, Casassa F, Oberholster A. Impact of micro-oxygenation timing and rate of addition on color stabilization and chromatic characteristics of cabernet sauvignon wines. LWT. 2021;149. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111776

12. Romanini E, Colangelo D, Lucini L, Lambri M. Identifying chemical parameters and discriminant phenolic compounds from metabolomics to gain insight into the oxidation status of bottled white wines. Food Chemistry. 2019;288:78–85. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.073

13. Hanna oxygen meters and oximeters [Internet]. [cited 2022 Jul 10]. Available from: https://nevaprofi.ru/kislorodomery,_oksimetry/article_post/214206

14. Lisantia MT, Laboyrie J, Marchand-Marion S, de Revel G, Moioa L, Riquier L, *et al.* Minty aroma compounds in red wine: Development of a novel automated HS-SPME-arrow and gas chromatography-tandem mass spectrometry quantification method. Food Chemistry. 2021;361. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130029

15. Martínez-Gil A, Del Alamo-Sanza M, Nevares I. Evolution of red wine in oak barrels with different oxygen transmission rates. Phenolic compounds and colour. LWT. 2022;158. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113133

16. Bueno M, Marrufo-Curtido A, Carrascón V, Fernández-Zurbano P, Escudero A, Ferreira V. Formation and accumulation of acetaldehyde and Strecker aldehydes during red wine oxidation. Food Chemistry. 2018;6. https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00020

17. Oliveira AS, Furtado I, Bastos ML, Guedes de Pinho P, Pinto J. The influence of different closures on volatile composition of a white wine. Food Packaging and Shelf Life. 2020;23. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100465

18. Cork quality council [Internet]. [cited 2022 Jul 13]. Available from: www.corkqc.com

19. Detecting TCA in wine and corks [Internet]. [cited 2022 Jul 13]. Available from: https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=941

20. Chemisova LE, Ageeva NM, Saulin AP. Tendency to problems` development on the market of cork means for winemaking. Fruit Growing and Viticulture of South Russia. 2019;(59):92–105. (In Russ.). https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-5-59-92-105

21. National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information [Internet]. [cited 2022 Jul 06]. Available from: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov

2023 Т. 53 № 2 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2433
https://elibrary.ru/VLDPOJ

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Барьеры маркетинговых коммуникаций и пути их преодоления

М. А. Шемчук*, О. С. Комарчева, В. Г. Шадрин

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 16.11.2022
Принята после рецензирования: 15.02.2023
Принята к публикации: 07.03.2023

**М. А. Шемчук: schemchukmasha@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3903-9298*
О. С. Комарчева: https://orcid.org/0000-0001-9444-1752
В. Г. Шадрин: https://orcid.org/0000-0001-7145-6775

© М. А. Шемчук, О. С. Комарчева, В. Г. Шадрин, 2023

Аннотация.
Маркетинговые коммуникации помогают формировать положительный образ бренда в глазах потенциальных потребителей и покупателей и позволяют поддерживать тесное взаимодействие с целевой аудиторией и повышать конкурентоспособность. Комбинирование подходов и инструментов позволяет повышать эффективность применения маркетинговых коммуникаций. Однако при работе с потенциальными потребителями возникают различные коммуникационные барьеры, которые необходимо преодолеть. Это позволит компании достичь поставленных целей и увеличить прибыль, а также эффективно продвигать товары и услуги на рынке.
Объектом исследования являлись предпочтения потребителей в области молочной продукции. В качестве методов исследования применяли наблюдение и анкетирование в виде опроса населения г. Кемерово, статистико-экономический и графический методы анализа и обработки данных. Объем выборки респондентов составил 388 человек разных возрастов. Определили основные барьеры маркетинговых коммуникаций: барьеры восприятия, некорректного изложения и взаимодействия. Рассмотрели основные тренды и тенденции на рынке молока. Выделили коммуникационные барьеры на рынке молочной продукции (на примере ООО «Натуральное молоко», Кемерово), включающие барьеры установки и взаимодействия, мотивационный барьер и барьер комфорта. Проведенное исследование показало, что барьеры можно минимизировать посредством цифровых маркетинговых коммуникаций, т. к. для целевой аудитории важна доступность информации о компании и ее продукции, которую может обеспечить наличие сайта и социальных сетей, а также применение чат-бота.
В современных экономических условиях успешная деятельность компании тесно связана с качеством и эффективностью ее маркетинговых коммуникаций. Полученные данные опроса позволили сформулировать рекомендации для компании по преодолению коммуникационных барьеров с учетом требований основной целевой аудитории и ее предпочтений относительно места покупки, контента и каналов коммуникаций.

Ключевые слова. Маркетинговые коммуникации, Digital-коммуникации, бренд, социальные сети, SWOT-анализ

Для цитирования: Шемчук М. А., Комарчева О. С., Шадрин В. Г. Барьеры маркетинговых коммуникаций и пути их преодоления // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 294–308. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2433

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2433
https://elibrary.ru/VLDPOJ

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Marketing Communication Barriers and How to Overcome Them

Maria A. Shemchuk*, Oxsana S. Komarcheva, Vladislav G. Shadrin

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Received: 16.11.2022
Revised: 15.02.2023
Accepted: 07.03.2023

**Maria A. Shemchuk: schemchukmasha@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3903-9298*
Oxsana S. Komarcheva: https://orcid.org/0000-0001-9444-1752
Vladislav G. Shadrin: https://orcid.org/0000-0001-7145-6775

© M.A. Shemchuk, O.S. Komarcheva, V.G. Shadrin, 2023

Abstract.
Marketing communications create a positive brand image and attract potential consumers while providing close interaction with the target audience and increasing competitiveness. By combining approaches and tools, food companies increase the effectiveness of marketing communications and avoid communication barriers, thus achieving their profit targets in sales and advertising.
The research featured consumer preferences in the field of dairy products. The research involved such methods as observation and survey; the obtained data underwent statistical, economic, and graphic processing. The survey involved 388 residents of the city of Kemerovo and the case of the local dairy producer Naturalnoe Moloko LLC, Kemerovo.
The main barriers of marketing communications usually include barriers of perception, presentation, and interaction. The case study revealed barriers connected with installation, interaction, motivation, and comfort. The barriers could be minimized using digital marketing communications. The target audience saw the information availability about dairy companies and their products as important. This information can be provided by websites, social network accounts, and chat bots.
In modern economic environment, a company is only as successful as its marketing communications. The survey data made it possible to formulate recommendations on how dairy companies can overcome communication barriers, based on the requirements of their target audience and their preferences regarding the place of purchase, choice, and communication channels.

Keywords. Marketing communications, Digital communications, brand, social networks, SWOT-analysis

For citation: Shemchuk MA, Komarcheva OS, Shadrin VG. Marketing Communication Barriers and How to Overcome Them. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):294–308. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2433

Введение

В современном мире маркетинговые коммуникации являются одним из способов продвижения продукции на рынке и создания положительной репутации компании, а также служат другим целям, позволяя производителям и продавцам товаров и/или услуг эффективно общаться с целевой аудиторией.

Маркетинговые коммуникации – это комплекс мер, связей и инструментов воздействия, направленный на внешнюю среду компании с целью построения взаимоотношений с потребителями и потенциальными покупателями, повышения узнаваемости бренда и продвижения товара на рынке.

Существует концепция разделения средств маркетинговых коммуникаций, согласно которой выделяют три группы: ATL (Above the line – над чертой), BTL (Bellow the line – под чертой) и TTL (Total the line – посередине). ATL – это способ донесения информации до потребителей посредством использования массовых средств коммуникации, к числу которых относятся радио и TV-реклама, наружная реклама, мобильный маркетинг, веб-сайты, электронные рассылки, продакт-плейсмент, вирусный маркетинг и т. д. BTL – это способ донесения информации до потребителя без использования массовых средств коммуникации, направленный на прямой контакт с потребителем. В данном случае используются следующие виды коммуникации: сообщения в социальных сетях, специальная цена, мерчандайзинг, купоны и подарки, образцы и дегустация, стимулирование продаж, спонсорство и т. д. TTL – это способ донесения информации до

потребителя, который совмещает в себе элементы ATL и BTL. К числу таких коммуникаций относятся поисковая реклама, пиар, сенсорный маркетинг, сарафанное радио, атрибуты узнаваемости бренда, медиасвязи, событийный маркетинг и т. д. [1, 2].

Подбор правильных каналов и инструментов для коммуникации позволяет производителям эффективно общаться с потребителями, донося информацию до них и получая обратную связь.

Как и в других сферах маркетинговой деятельности, в маркетинговых коммуникациях существуют свои сложности, ключевыми из которых являются коммуникационные барьеры. С каждым годом появляется все больше каналов маркетинговых коммуникаций, что способствует развитию новых барьеров в них, поэтому данная тема остается актуальной.

Молочная промышленность – одна из важнейших пищевых отраслей. В структуре стоимости потребительской корзины РФ ее доля составляет около 20 % [3]. Как и в любой другой сфере, в производстве молока в России есть свои особенности: требования к качеству сырья и готовой продукции, география распространения и промышленные лидеры. Современное состояние молочной отрасли определяется высокой степенью насыщения национального рынка молочными продуктами и жесткой конкуренцией как отечественных, так и зарубежных производителей. По производству молока и молочной продукции Сибирский федеральный округ занимает 3 место: ему принадлежит 17 % от всего молочного производства РФ [4].

Актуальность данной работы заключается в том, что маркетинговые коммуникации становятся одним из важнейших элементов в деятельности компании: они позволяют продвигать товар на рынке и помогают создавать имидж компании, повышая ее привлекательность не только для реальных потребителей и потенциальных покупателей, но и для поставщиков, партнеров, социальных и государственных структур, других кругов общественности.

Целью работы являлось определение барьеров маркетинговых коммуникаций на рынке молочной продукции Кузбасса (на примере ООО «Натуральное молоко») и нахождение путей их преодоления для удовлетворения растущих потребностей населения.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись предпочтения потребителей в области молочной продукции, выпускаемой ООО «Натуральное молоко», и способы получения ими информации. Методами исследования стали наблюдение и социологический опрос населения г. Кемерово в форме анкетирования. В исследовании приняли участие 388 респондентов разных возрастов. Также в работе использовались экспериментальные исследования, данные о поведении покупателей, статистико-экономический и графический методы исследования.

Результаты и их обсуждения

Коммуникационные барьеры – это совокупность внешних и внутренних причин, социальных и психологических установок, препятствующих эффективной коммуникации. Возникновение барьеров является частым явлением, но грамотная и детальная проработка позволяет быстро устранять нежелательные последствия, а также заранее предупреждать их появление [5].

Основные ошибки, совершаемые в маркетинговых коммуникациях:

1. Неправильное определение целевой аудитории;
2. Неправильное определение мотивов и потребностей покупателей;
3. Отсутствие маркетолога;
4. Отсутствие регулярных обновлений страниц в социальных сетях;
5. Отказ от мониторинга трендов и тенденций в отрасли и следования им;
6. Отказ от обратной связи с потребителями.

Эти ошибки приводят к возникновению коммуникационных барьеров, которые можно разделить на несколько групп в зависимости от причин их возникновения: барьеры восприятия, некорректного изложения и взаимодействия. Каждая группа барьеров может проявляться при использовании графических, текстовых, аудио- и видеоинструментов коммуникации [6].

Барьеры восприятия возникают из-за несовпадения точек зрения, а также при наличии устоявшихся мнений и субъективных взглядов. Наиболее часто встречающимся представителем данной группы является барьер установки. Он возникает при наличии у потенциального потребителя уже сложившегося и предвзятого, зачастую негативного, мнения о производителе и/или его товаре. Бороться с этим барьером сложно, т. к. единственным способом его устранения является изменение мнения людей. Добиться этого можно лишь действиями, т. к. слова не будут звучать убедительно из-за имеющегося недоверия. Инструментами для решения данной проблемы могут служить индивидуальный подход или предоставление потребителю скидок на товар. Это даст возможность человеку с имеющейся установкой поближе познакомиться с продукцией и ее производителем и переосмыслить свое мнение о них.

Барьер отрицательных эмоций частично схож с барьером установок. Но в этом случае причиной его возникновения является негативный опыт приобретения товара или общения с производителем, т. е. его возникновение связано с предыдущим коммуникационным процессом.

Этический барьер возникает при использовании в процессе коммуникации неэтичной информации и методах ее продвижения. Причиной может быть как само сообщение, передаваемое посредством коммуникации, так и выбранный канал ее передачи. Устранение данного барьера не является затруднительным. В данном случае достаточно внимательно обдумывать все действия в коммуникационном процессе и учитывать этические нормы и морали общества и целевой аудитории, на которую направлен основной посыл коммуникации [7].

Последним барьером в данной группе является эстетический. Как и все предыдущие, он носит субъективный характер и основывается на несовпадении взглядов участников коммуникации на те или иные вещи, но в данном случае внимание акцентируется именно на эстетическом восприятии.

Вторая группа барьеров – барьеры некорректного изложения. Они связаны с ошибками в формулировании сообщения для коммуникации, его оформлении или выборе канала для отправки. Семантический барьер возникает при неправильных формулировке и изложении первоначальной мысли, что меняет суть дальнейшей коммуникации, определяя ее в неверном направлении. Фонетический и орфографический барьеры возникают уже на следующем этапе – при передаче сообщения. Данные барьеры связаны с дефектами в технике речи и письма, с помощью которых передаются сообщения. Ошибки, допущенные в них, могут искажать смысл и затруднять восприятие.

Избавиться от барьеров данной группы можно лишь внимательно проверяя составленное в процессе коммуникации сообщение на отсутствие в нем семантических, фонетических и орфографических ошибок, устраняя их еще до передачи сообщения, тем самым сохраняя первоначальный смысл информации и обеспечивая эффективность ее донесения.

Барьеры взаимодействия связаны с подбором неправильного подхода к потенциальному потребителю при коммуникации. Мотивационный барьер возникает в том случае, когда производитель или продавец не в состоянии определить мотив, с которым покупатель вступает в коммуникацию. Ошибочное определение мотива приводит к тому, что в процессе коммуникации потенциальный потребитель получает не то, что ожидалось, и из-за этого перестает рассматривать вариант приобретения товара или услуги конкретно у этого производителя (поставщика), что приводит к потере клиента. Методом борьбы с данным барьером будет являться попытка его устранения еще до начала коммуникации, т. е. более тщательный анализ потребностей и мотивов потенциального потребителя для того, чтобы предложить ему наиболее выгодное и интересное предложение с его точки зрения.

Более субъективным является барьер комфорта. Если в процессе коммуникации потенциальный потребитель начинает ощущать себя некомфортно по ряду причин, начиная от стиля общения собеседника и заканчивая окружающей его обстановкой и предложенными каналами коммуникаций, то желание приобрести предлагаемый товар или услугу у потребителя снижается из-за формирования у него отрицательных эмоций и негативного отношения. Данный барьер индивидуален. Полное управление им возможно при коммуникации один на один с тщательной подготовкой. Коммуникации, распространяющиеся на более широкую аудиторию, не могут избежать столкновения с данным барьером как минимум в нескольких частных случаях. Единственным возможным решением является попытка организовать коммуникационный процесс таким образом, чтобы он был комфортен для большинства.

Маркетинговые коммуникационные барьеры явление частое, но следование определенному ряду правил может помочь избежать почти все из них и сделать коммуникацию эффективной.

1. Необходимо четко прорабатывать и определять свою целевую аудиторию, ее мотивы и потребности для эффективного выстраивания процесса коммуникации, предоставляя потенциальным потребителям только актуальную и интересную им информацию.

2. Отслеживание трендов и тенденций в отрасли помогает разнообразить контент, что поддерживает интерес у имеющейся аудитории и привлекает новую.

3. Необходимо следить за тем, чтобы подготовленный к публикации материал или сообщение для личной отправки одному из пользователей соответствовал моральным, этическим и правовым нормам, был использован подходящий для данного случая стиль общения без смысловых, речевых и орфографических ошибок. Данный шаг позволяет сохранять комфортную обстановку в процессе коммуникации без риска потерять клиента или потенциального потребителя в случае недопонимания или нарушения его личных границ.

4. В процессе общения с потребителями необходимо задействовать все возможные каналы коммуникации с учетом предпочтений целевой аудитории. Применять омниканальный подход при построении маркетинговых коммуникаций с целью интегрированного восприятия потребителем самой компании и ее продукции посредством использования всех каналов взаимодействия.

5. Ведение социальных сетей лучше всего предоставлять квалифицированному специалисту, имеющему опыт и знания в сфере интернет-маркетинга. Такой специалист всегда может заниматься мониторингом и анализом происходящего в социальных

сетях компании, выстраивая грамотный план действий и создавая подходящую программу контента [8, 9].

6. Нельзя отказываться от взаимодействия и обратной связи с клиентами и потенциальными потребителями. Вовлеченность целевой аудитории позволяет удерживать ее внимание, а обратная связь дает понимание слабых сторон в деятельности компании, помогает решать проблемы в случае недопонимания и оказывать помощь клиентам при необходимости.

7. Не стоит пренебрегать персонализацией страниц в социальных сетях. Особый стиль и уникальность их ведения позволяют лучше запомниться потребителям, а также создают определенный образ в их глазах.

Таким образом, маркетинговые коммуникации являются инструментом донесения информации до потребителя, получения обратной связи и продвижения товара на рынке, имея для этого различные инструменты и каналы реализации, каждый из которых направлен на достижение определенных целей.

Рассмотренные барьеры маркетинговых коммуникаций необходимо учитывать и на рынке молочной продукции. Особенностью данной отрасли, определяющей интенсивность маркетинговых коммуникаций всех участников рынка, является сезонность. Данный фактор оказывает влияние на срок годности сырья, его стоимость и ассортимент готовой продукции. Совокупность этих факторов влияет на маркетинговые решения участников рынка, которые в период сезонного спада несут затраты на маркетинговые коммуникации, связанные со стимулированием сбыта и привлечением потенциальных потребителей. Еще одной особенностью, которая влияет на формирование маркетинговой политики компании, производящей молочную продукцию, является ее низкое потребление населением (240–250 кг в год при норме 392 кг). В таких условиях компаниям сложно развиваться и повышать спрос на свою продукцию без дополнительных инвестиций в маркетинговые коммуникации [10, 11].

Россия – крупнейший в мире производитель молока и молочной продукции, занимающий четвертое место в мировом рейтинге. Объем рынка молочных продуктов в 2020 г. вырос на 4,8 % и составил 950,2 млрд руб. С точки зрения внутреннего рынка объем потребления молока в России может вырасти на 25–30 % в течение десяти лет. С точки зрения потенциала экспорта российский продукт может быть конкурентоспособен на многих рынках (https://marketing.rbc.ru/articles/12737).

В 2021-м г. молочная отрасль РФ столкнулась с рядом вызовов, среди которых рост себестоимости производства и переработки, замедление темпов роста производства, реструктуризация потребительских расходов, снижение доходов граждан и естественная убыль населения страны.

Молочный рынок России – крупная и перспективная отрасль, которая важна для потребителя. Рынок сформирован, стабилен и не претерпевает значительных структурных изменений. Двумя драйверами роста и изменения рынка являются маркетинговые активности, эмоционально вовлекающие потребителя, а также постепенная цифровизация и диджитализация как оптового, так и розничного ретейл-бизнеса.

По данным Кемеровостата, производство молока в Кемеровской области в 2019 г. составило 302,7 тыс. т, в 2020-м – 303,9 тыс. т, в 2021-м – сократилось до 285,7 тыс. т (https://kemerovostat.gks.ru).

В сложившихся условиях компаниям на региональном уровне необходимо сосредоточение в одном месте всех стадий производства молочной продукции: от сбора сырья до его переработки и дальнейшей реализации готовой продукции. Одним из производителей молочной продукции в Кузбассе является ООО «Натуральное молоко» – первый в Кузбассе молочный завод модульного типа. Он входит в замкнутую цепочку производства: от выработки сырья до изготовления продукции.

Строительство завода в г. Кемерово было начато Холдинговой компанией «СДС» в январе 2011 г., а уже в мае этого же года продукция поступила на реализацию под собственной торговой маркой «Молокошко». Предприятие уникально своими технологическими особенностями: на малой производственной площади размещено итальянское и российское оборудование всех технологических циклов, не уступающее по своим возможностям большим заводам. Сравнительно небольшие объемы производства позволяют улучшить качество продукции [12].

Все сырье, которое поступает на завод, вырабатывается в хозяйстве «Ваганово», расположенном в экологически чистом Промышленновском районе Кузбасса. Наличие одного поставщика обеспечивает стабильное качество исходного сырья (сырого молока).

Ежесуточно на заводе перерабатывается до 10 т сырья. Молоко вечернего надоя уже к следующему утру поступает в магазины. Холдинг «Сибирский Деловой Союз» инвестировал в приобретение оборудования на молочном заводе ООО «Натуральное молоко» 15 млн руб. За счет увеличения поставок продукции в бюджетную сферу (школы и детские сады) повысились производственные мощности завода.

В ноябре 2013 г. был осуществлен ребрендинг продукции. В 2013 г. ООО «Натуральное молоко» удостоилось диплома в номинации «Лучший бренд года» от администрации Кемеровской области в группе «Производство продовольственных товаров народного потребления». Ежегодно с 2013 г. они станови-

лись победителями областного конкурса «Бренд Кузбасса», в рамках которого жюри определяло лучшие кузбасские торговые марки в сфере производства товаров и услуг. В январе 2014 г. завод полностью перешел на упаковку с новым ярким дизайном. ООО «Натуральное молоко» получил Гран-при на конкурсе «Молочные продукты Сибири – 2016» в номинации «Лучшие образцы десертных продуктов».

Основными конкурентами на территории Кузбасса являются:

– ОАО «Юргинский гормолзавод»;
– СХП «Михайловское»;
– АО «Кемеровский молочный комбинат» (филиал – АО «Данон Россия»);
– ООО «КузбассКонсервМолоко»;
– ООО «Компания Томак»;
– ООО «Скоморошка»;
– ООО «Деревенский молочный завод».

ООО «Натуральное молоко» реализует свою продукцию как на B2C-рынке («business-to-consumer», «бизнес для потребителя»), так и на рынке B2B («business-to-business», «бизнес для бизнеса»). Можно выделить следующих потребителей ООО «Натуральное молоко»: розничные потребители, бюджетные учреждения (школы и сады), предприятия общественного питания и шахты.

Розничные потребители приобретают продукцию компании в магазинах розничной сети. Ассортимент продукции обширен и охватывает почти все производимые компанией виды. Продукция приобретается для домашнего употребления. ООО «Натуральное молоко» осуществляет поставку своей продукции в бюджетные организации (школы и сады). Большую часть приобретаемой продукции составляет молоко, а также кефир, йогурты, сметана, творог и сыр, которую используют для массового изготовления блюд. Также компания заключает договоры с предприятиями общественного питания на поставку своей продукции. Ассортимент приобретаемой продукции схож с бюджетными организациями, но более обширен, его используют для изготовления блюд. ООО «Натуральное молоко» заключает договоры с шахтами на поставку своей продукции. Приобретаемый вид продукции – молоко, т. н. «молоко за вредность».

В данный момент на рынке молока присутствуют следующие тренды и тенденции:

1. Покупатели думают об экологии. 55 % опрошенных потребителей предпочитают продукцию компании, которая бережно относится к экологии. Если говорить о рынке молока, то это не только безопасная для экологии упаковка, но и высокий стандарт по уходу за коровами и условием их содержания [13];

2. Собственные торговые марки на рынке молока. Крупнейшие ритейлеры наращивают долю собственных торговых марок в обороте своих магазинов. К ним относятся торговые сети «Магнит», «Пятерочка», «Перекресток», «Азбука вкуса» и др. Молоко и молочные продукты являются одной из самых распространенных категорий собственных торговых марок, которые развивают торговые сети [14];

3. Функциональное питание. Молочная продукция доминирует на рынке функциональных продуктов. Молочные продукты обладают повышенной питательной ценностью и профилактическими свойствами по нормализации деятельности желудочно-кишечного тракта за счет наличия в составе витаминов A, B_1, B_2, B_6, B_{11}, D и E, микроэлементов, биологически активных волокон, йодированного белка, биологически активных добавок (веторон), фтора, мезофильных молочнокислых организмов, закваски на чистых культурах пропионово-кислых бактерий, кальция, бифидо-, лакто- и ацидофильных бактерий [15];

4. Sugar Free. Под воздействием тренда на здоровый образ жизни стали популярны продукты с низким содержанием сахара или вообще без него [16];

5. Мультипак. Стремительное развитие интернет-торговли дало этому тренду дополнительный импульс. Мультипак – продажа товара в большом объеме, т. е. сразу по несколько штук. Еще такую упаковку довольно часто называют «семейной». Рынок молочной продукции больше всего подвержен этому тренду;

6. Clean Label – это производство товаров с чистой этикеткой, т. е. еда подвергается лишь минимальной обработке, сохраняя свои полезные свойства, а компоненты с сомнительной репутацией в ней отсутствуют [17];

7. Переключение на онлайн-покупки. По данным NielsenIQ, доля онлайн-продаж товаров повседневного спроса (FMCG) в год составила 6,2 % (https://nielseniq.com/global/ru/insights/analysis/2022/onlayn-rynok-fmcg-v-2022-chto-nuzhno-znat). На рынке молочной продукции в первом полугодии 2022 г. доля онлайн-продаж удвоилась, по сравнению с годом ранее, и составила 3,7 % (https://nielseniq.com/global/ru/insights/analysis/2022/trendy-industrii-molochnaya-produkciya). Переключение потребителей на онлайн-покупки молочной продукции происходит на фоне высокого ценового индекса, т. е. потребители заказывают товары онлайн, несмотря на более высокие цены, которые в среднем на 30 % дороже. Важную роль играет широта предлагаемого ассортимента в онлайн-магазинах, удобство шопинга, наличие промоакций и возможность доставки на дом.

8. Конкуренция со стороны растительных альтернатив. Производство и популярность растительных альтернатив молока в мире с каждым годом растет, т. к. потребители считают альтернативное молоко полезнее, поэтому даже те, кто не являются

вегенами и вегетерианцами, предпочитают именно его. В перспективе этот тренд будет только расти. Чтобы сохранить рынок, молочному сектору потребуется больше инновационных продуктов. Все крупнейшие производители молока в мире уже начали интересоваться и инвестировать в растительный сектор, что будет способствовать развитию категории [18].

ООО «Натуральное молоко» соответствует трендам, связанным со здоровым образом жизни и сохранением экологии. Во-первых, предприятие заботиться об экологии, принимая тару от собственной продукции на переработку или повторное использование. Во-вторых, вся их продукция является натуральной и содержит в себе большое количество полезных веществ. Компания позиционирует себя как производитель натуральной продукции. Продукция предприятия производится под собственными торговыми марками «Фермерское» и «Сельское», основное различие которых заключается в их ценовой категории.

ООО «Натуральное молоко» не прибегает к постоянному использованию наружной рекламы и рекламы в СМИ. За последние несколько лет было осуществлено три запуска рекламы на непродолжительное время: в июне 2020 г. ООО «Натуральное молоко» совместно с торговой сетью «Бегемаг» запустили рекламу на радио; в начале 2021 г. была размещена реклама в деревне Сухово на баннере около коттеджного поселка «Маленькая Италия»; летом того же года была размещена реклама марки «Сельское» на общественном транспорте.

ООО «Натуральное молоко» предоставляет свою продукцию в качестве призов на различных мероприятиях, участие в которых происходит через холдинг «СДС», в котором состоит данное предприятие. Например, в 2021 г. ООО «Натуральное молоко» предоставляло свою продукцию ресторану «Волна», с которым они сотрудничают, для формирования подарочных наборов.

Через холдинг «Сибирский Деловой Союз» ООО «Натуральное молоко» участвует в различных мероприятиях, ярмарках и выставках, давая потенциальным покупателям возможность ознакомиться со своей продукцией и заявляя о себе на рынке молочной продукции. Данное направление деятельности предприятия можно отнести к такому средству воздействия, как прямой маркетинг.

ООО «Натуральное молоко» занимается благотворительностью. От предприятия производятся поставки продукции в благотворительную организацию «Дом милосердия». Популяризация на рынке не является основной целью данных действий, но положительно влияет на репутацию самой организации, что относится к ее продвижению.

Публикации в СМИ и упоминания в различных источниках помогают бренду расширить круг потенциальных потребителей.

Таким образом, ООО «Натуральное молоко» не прибегает к использованию широкого круга инструментов и каналов маркетинговых коммуникаций, ограничиваясь прямым маркетингом и связью с общественностью, используя их на регулярной основе. Социальные сети и сайт, на которых при выбранных инструментах продвижения стоит делать упор, у компании отсутствуют, а из доступной информации в интернете можно найти лишь адрес и номер телефона.

Дополнительно был проведен анализ деятельности в данном направлении основных конкурентов, результаты которого представлены в таблице 1.

Анализируя полученные результаты, можно заметить, что у пяти из семи конкурентов компании имеется собственный сайт со всей подробной и необходимой информацией, к которой может обратиться потребитель в случае необходимости. У потребителей ООО «Натуральное молоко» такая возможность отсутствует.

Таблица 1. Наличие у основных конкурентов страниц в социальных сетях и сайта

Table 1. Social network accounts and websites of the main competitors

Конкурент	Исследуемый объект	
	Социальные сети	Сайт и его содержание
ОАО «Юргинский гормолзавод»	Отсутствуют	Имеется (о компании, продукция, награды, контакты, отчетность, история предприятия, другое)
СХП «Михайловское»	Отсутствуют	Имеется (продукция, галерея, туризм, партнеры, о компании, контакты)
АО «Кемеровский молочный комбинат»	VK	Имеется (миссия, отчетность, продукция, карьера, пресс-центр, потребителям, партнерство)
ООО «КузбассКонсервМолоко»	Отсутствуют	Отсутствует
ООО «Компания Томак»	Отсутствуют	Имеется (о компании, продукция, контакты, новости)
ООО «Скоморошка»	Отсутствуют	Отсутствует
ООО «Деревенский молочный завод»	VK Одноклассники	Имеется (о компании, продукция, новости, контакты, акции, партнерам, вакансии, другое)

Следующим пунктом анализа является определение основных барьеров маркетинговых коммуникаций ООО «Натуральное молоко». Исходя из характеристик рынка молочной продукции и опыта маркетинговой деятельности производителей молока, можно сделать предположение о том, что к основным коммуникационным барьерам на данном рынке будет относиться барьер установки из-за массового характера продукта, наличия сильных брендов федерального уровня с продолжительной историей существования и устоявшихся предпочтений потребителей (что актуально для местных, региональных и локальных брендов с низким бюджетом на ATL-продвижение). Также можно выделить наличие барьеров взаимодействия, предполагающих полное или частичное отсутствие учета предпочтений целевой аудитории в процессе коммуникации.

Мотивационный барьер коммуникаций и барьер комфорта компании связаны с недостаточным учетом потребностей и мотивов потребителей продукции при формировании маркетинговых коммуникаций. Следствием наличия данных барьеров является ограниченное использование каналов коммуникаций компании.

Современная цифровая среда представляет особый интерес для производителей молочной продукции с точки зрения формирования эффективных маркетинговых коммуникаций на местную аудиторию, повышения лояльности потребителей и преодоления существующих барьеров маркетинговых коммуникаций. Отсутствие сайта и страниц в социальных сетях ограничивает доступность информации о компании, которая в современном мире очень важна. Потребители предпочитают искать ответы на интересующие их вопросы в интернете, а социальные сети и сайт наиболее удобные для этого платформы, позволяющие быстро и просто предоставить потребителю всю интересующую их информацию. Помимо этого, развитие социальных сетей позволяет привлекать новых потребителей и поддерживать интерес к продукции у имеющихся.

Популярным инструментом для данных платформ являются чат-боты, позволяющие упрощать для потребителя поиск информации и получение обратной связи, что является плюсом с точки зрения преодоления барьеров установки и взаимодействия.

Из вышесказанного можно выдвинуть следующие гипотезы:

1. Наличие сайта и социальных сетей является для компании плюсом, который может привлечь потенциальных покупателей, а также помочь в коммуникации с имеющимися.

2. Чат-бот упрощает получение обратной связи и поиск информации для потребителей.

Для подтверждения данных гипотез провели наблюдение и опрос, участие в котором приняли 388 человек.

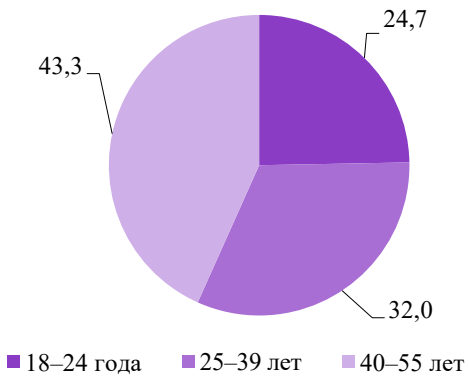


Рисунок 1. Возрастной состав респондентов

Figure 1. Age composition of respondents

Исходя из проведенного исследования, для потенциальных покупателей в возрасте от 18 до 39 лет наличие сайта и социальных сетей является важным фактором, т. к. данная категория потребителей является лояльной к нововведениям в области питания. Возрастной состав респондентов представлен на рисунке 1.

В следующем вопросе респондентам были предложены четыре утверждения, касающиеся сайта, социальных сетей, чат-бота и доступности информации о компании, с которыми они могли согласиться или нет. Результаты представлены на рисунке 2.

По результатам опроса 88,1 % опрошенных согласились с тем, что им важна доступность информации о компании и ее продукции, которую может обеспечить наличие сайта и социальных сетей. Помимо этого, ровно столько же респондентов подтвердили, что предпочтут покупать, заказывать или сотрудничать именно с той компанией, у которой имеются доступные и понятные социальные сети и сайт. Это обусловлено тенденцией на то, что в современном мире потребители предпочитают искать информацию в интернете, исключая другие более трудозатратные способы или личное общение с представителями бренда. С помощью социальных сетей и сайта можно минимизировать барьер установки благодаря информированию потребителей о продукте компании, его особенностях и ценностях, скидках, играх, розыгрышах, местах дегустации и других промоактивностях.

С утверждениями, касающимися чат-бота, согласилось меньшее число респондентов. 76,8 % респондентов считают, что чат-бот облегчает получение обратной связи от компании, что делает процесс поиска информации для потребителя менее трудозатратным, но лишь 56,2 % опрошенных предпочтут покупать, заказывать или сотрудничать именно с той компанией, у которой имеется чат-бот. Данный инструмент все же считается полезным, т. к. является

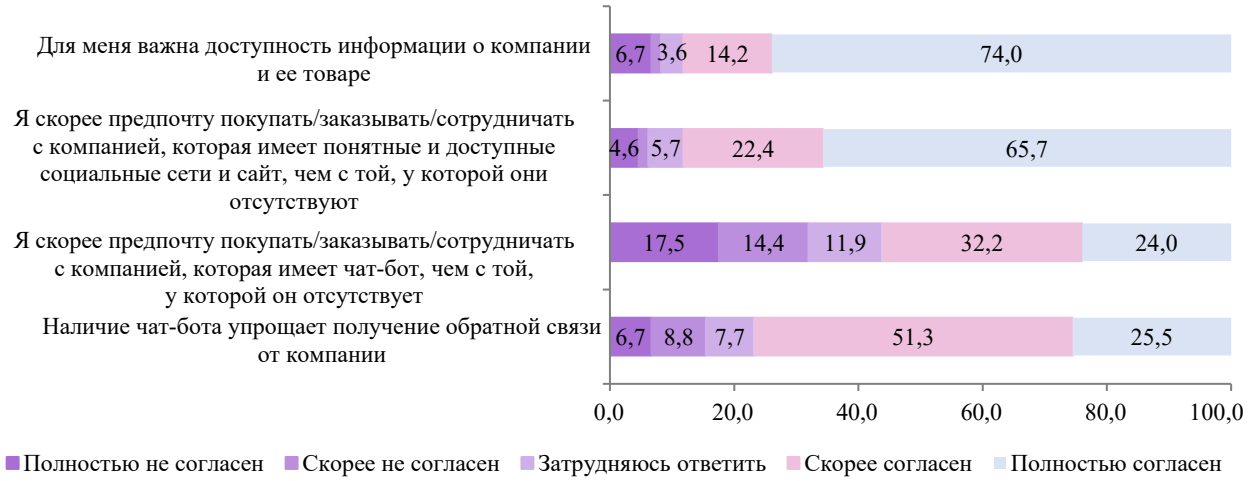


Рисунок 2. Распределение ответов респондентов относительно важности для них доступной информации, наличия социальных сетей и чат-бота

Figure 2. Reponses to the question regarding the importance of available information, social networks, and a chat bots

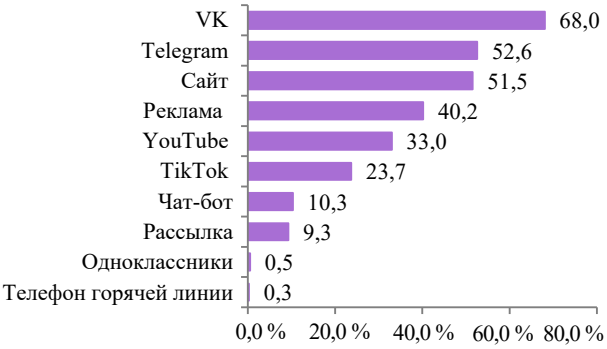


Рисунок 3. Предпочтения респондентов относительно источников получения актуальной информации о компании

Figure 3. Sources of up-to-date information about the company

преимуществом компании в глазах потребителей. Здесь можно найти подтверждение обхода барьера взаимодействия через создание удобного и современного процесса коммуникации с потребителем и возможной проработки общения с клиентами благодаря продуманному сценарию для чат-бота и выявлению мотивов обращения к этому инструменту.

Результаты ответов респондентов относительно предпочитаемых источников получения актуальной информации о компании, ее продукции, акциях и т. д. представлены на рисунке 3.

Подтвердилась гипотеза о том, что социальные сети и сайт компании являются самыми популярными источниками для получения информации потребителями. Более 50 % опрошенных респондентов выбрали предпочитаемыми для себя источниками информации VK и сайт компании. Появление Telegram в топ-3 обусловлено его возросшей за последнее время популярностью. Помимо этого, такие социальные сети, как YouTube и TikTok, хоть и отстают от различных видов рекламы, но имеют популярность, превышающую 30 и 20 % соответственно.

Чат-бот набрал меньшее количество процентов в сравнении с другими источниками, но как встроенный инструмент, например, в наиболее популярные социальные сети и сайт, имеет место быть.

В процессе анализа сайтов и социальных сетей конкурентов ООО «Натуральное молоко» были выделены основные разделы и темы публикаций, на которые они делают упор. Из них был составлен список с добавлением других разновидностей контента, которые могут заинтересовать потребителя. Все эти варианты были представлены в третьем и четвертом вопросах анкетирования, где респондентом необходимо было отметить наиболее важные и интересные для них. Результаты представлены на рисунках 4 и 5.

Анализируя данные графиков, можно выявить виды важной и интересной для потребителей информации и в дальнейшем использовать их для оформления и выбора тем для новых публикаций в социальных сетях и на сайте компании.

Помимо вопросов, направленных на подтверждение или опровержение выявленных гипотез, респондентам было предложено ответить на вопрос об их осведомленности о наличии на рынке двух марок молочной продукции ООО «Натуральное молоко» – «Сельское» и «Фермерское». Распределение ответов представлено на рисунке 6.

Лишь 31,2 % опрошенных знакомы с продукцией ООО «Натуральное молоко», 17,5 % являются

Рисунок 4. Важная и интересная для респондентов информация, публикуемая в социальных сетях компании

Figure 4. Information published in social nets that respondents saw as important and interesting

Рисунок 5. Важная и интересная для респондентов информация, публикуемая на сайте компании

Figure 5. Information published on corporate website that respondents saw as important and interesting

ее потребителями, 51,3 % респондентов не знают о существовании на рынке данных марок. Данная статистика обусловлена низкой рекламной активностью компании и отсутствием социальных сетей и сайта, из которых потенциальные потребители могли бы узнавать больше о данной продукции. С другой стороны, данные результаты говорят о наличии сильного барьера установки, при котором потребители не воспринимают положительно бренды слабо им знакомые и не подкрепленные опытом личного использования. Это требует оптимизации системы используемых маркетинговых коммуникаций.

Подводя итоги, можно сказать, что обе гипотезы подтвердились. Наличие сайта и социальных сетей помогут в продвижении продукции ООО «Натуральное молоко» и привлечении новых потребителей, а чат-бот станет дополнительным инструментом, позволяющим эффективно коммуницировать с потребителями, отвечать на интересующие их вопросы и помогать в поиске информации и получении обратной связи.

На основании всей рассмотренной информации был проведен SWOT-анализ ООО «Натуральное молоко», в котором определили сильные и слабые стороны, возможности и угрозы.

Сильные стороны: хорошая репутация в глазах потребителей; использование только натуральных ингредиентов; товары предприятия представлены в двух ценовых сегментах рынка; постоянный контроль качества продукции; широкий ассортимент продукции; наличие постоянных заказчиков.

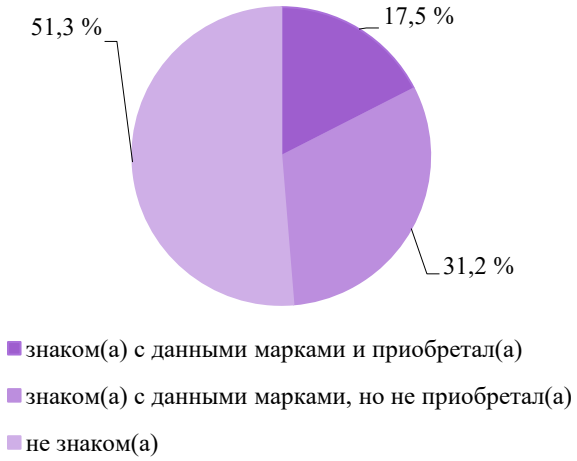


Рисунок 6. Осведомленность респондентов о наличии на рынке марок «Сельское» и «Фермерское»

Figure 6. Awareness about Selskoye and Farmerskoye milk brands on the market

Слабые стороны: недостаточная известность на рынке молочной продукции; низкая рекламная активность; отсутствие сайта и страниц в социальных сетях; убыточность предприятия, низкие финансовые показатели.

Возможности: рост рынка и появление новых тенденций.

Угрозы: наличие большого количества сильных конкурентов; изменение законодательства, регулирующего производство молочной продукции; банкротство.

Проведенный анализ позволяет составить расширенную матрицу SWOT-анализа, результаты представлены в таблице 2.

Анализ показал, что сильных сторон у ООО «Натуральное молоко» больше, чем слабых сторон и угроз. Грамотно используя свои ресурсы, компания может снизить количество слабых сторон и угроз, таких как, например, низкая рекламная активность и отсутствие сайта и социальных сетей. Это может решить проблему с недостаточной известностью бренда и угрозой от большого количества сильных конкурентов, а также преодолеть барьеры маркетинговых коммуникаций [19, 20].

По результатам проведенного ранее анализа можно предложить следующие рекомендации по преодолению барьеров маркетинговых коммуникаций компании:

1. Создание страниц и сообществ в таких социальных сетях, как VK, Telegram, RuTube и TikTok (в будущей перспективе, т. к. в данный момент публикация материалов на территории РФ временно невозможна), и определение основных направлений и тем публикаций (разделы и рубрики);

2. Создание сайта и определение основных направлений и тем публикаций (разделы и рубрики);

3. Создание чат-бота на базе таких платформ, как VK и Telegram.

При создании страниц и сообществ в социальных сетях стоит учитывать корпоративный стиль и цвета, позиционирование компании на рынке, основные тренды и тенденции в отрасли и мире в целом, а также интересы основных потребителей. В случае ООО «Натуральное молоко» упор в публикуемом контенте стоит делать на следующие темы:

– информация об актуальных акциях и скидках, конкурсах и розыгрышах;
– публикации с интересными фактами о производимой продукции, ее составе и полезных свойствах;
– рецепты с использованием продукции компании.

Публикации подобного рода являются наиболее интересными для покупателей и могут стимулировать их к приобретению продукции за счет выгодных цен, полезных свойств и т. д. Информация об акциях и скидках подходит для публикации в таких социальных сетях, как VK и Telegram. Публикации с интересными фактами лучше всего размещать в VK, Telegram и TikTok. Что касается публикации рецептов, то данное

Таблица 2. Расширенная матрица SWOT-анализа

Table 2. Extended SWOT analysis matrix

	Возможности	Угрозы
Сильные стороны	1. Выпуск новой продукции, соответствующей трендам и тенденциям в отрасли, с помощью перераспределения бюджета с невостребованных товаров (изъятие их с рынка) 2. Выход на новые рынки сбыта	1. Повышение конкурентоспособности продукции за счет упора на натуральность и полезные свойства 2. Соответствие продукции государственным стандартам 3. Расширение производства с целью повышения прибыли
Слабые стороны	1. Создание сайта и страниц в социальных сетях с целью популяризации продукции за счет перераспределения бюджета с имеющихся рекламных активностей 2. Увеличение рекламной активности с упором на тренды и тенденции в отрасли	1. Повышение известности бренда с целью уменьшения угрозы от сильных конкурентов

направление универсально: рецепты в текстовом формате можно публиковать на страницах компании в VK и Telegram, а в видеоформате на RuTube и TikTok.

Можно уделить внимание дополнительному контенту, который поможет привлечь внимание потенциальных потребителей и поддерживать доверие и интерес к бренду у имеющихся:
– развлекательный контент, направленный на привлечение внимания к продукции;
– публикации, освещающие процесс производства;
– новости о компании и ее продукции.

Данное направление не является приоритетным, но позволяет продвигать товары компании. Развлекательный контент подойдет для публикации в TikTok. За счет наличия рекомендаций в этой социальной сети продвигаться и привлекать потребителей с помощью такого контента становится проще. Процесс производства лучше освещать в видеоформате через RuTube и TikTok, но можно делать публикации на эту тему и в VK. Подобного рода публикации позволят компании быть «прозрачной» в своем производстве для потребителей, укрепляя их доверие бренду. Если компания следует трендам и тенденция, то публикации о новинках и нововведениях, связанных с ними, могут помочь в привлечении внимания потребителей. Для публикаций на подобные тематики отлично подойдут VK, Telegram и TikTok.

Рекомендации для тем публикаций ООО «Натуральное молоко» на страницах в социальных сетях представлены в таблице 3.

Важной функцией социальных сетей является возможность общения потребителей с производителем, поэтому при оформлении страниц в социальных сетях необходимо учитывать создание такой возможности. Для этого в специально предусмотренных для этого полях («ссылки», «контакты» и т. д.) следует размещать ссылки на каналы коммуникации с компанией – VK, Telegram, сайт, электронная почта и номер телефона. Помимо этого, хорошим решением будет отслеживание комментариев пользователей на страницах компании и оперативный ответ на возникающие вопросы или проблемы.

Такой инструмент, как чат-бот, созданный на базе сообщества в VK и страницы компании в Telegram, будет являться вспомогательным средством. Он позволит сделать ответы на интересующие потребителей вопросы еще более быстрыми и эффективными и тщательно проводить анализ потребностей и мотивов потенциального потребителя для того, чтобы предложить ему наиболее выгодное и интересное предложение. То есть качественно преодолевать мотивационный барьер.

Примерный сценарий для чат-бота ООО «Натуральное молоко» представлен на рисунке 7.

При оформлении сайта стоит учитывать корпоративный стиль и фирменные цвета, позиционирование компании на рынке, а также интересы основных потребителей. Для ООО «Натуральное молоко» рекомендуемыми разделами на сайте по результатам анализа сайтов конкурентов и проведенного исследования будут следующие:
– каталог (с полной информацией о продукции и ценами);
– «о компании» (история создания, достижения и деятельность);
– статьи (публикации, связанные с молочной продукцией, продукцией компании, освещение деятельности и активности вне производства, например, участие в мероприятиях и благотворительность);
– отчетность (документация и отчеты о деятельности);
– потребителям (информация об актуальных скидках, акциях, конкурсах и розыгрышах; список торговых сетей, которые ведут продажу продукции компании);
– партнерство (условия сотрудничества для юридических лиц);
– отзывы (раздел с отзывами потребителей);
– контакты (ссылки на страницы в социальных сетях, номер телефона, электронная почта и адрес, обратная связь).

Такой список разделов позволяет удовлетворить все запросы потребителей, предоставляя им подробную и структурированную информацию, в которой легко ориентироваться.

Таблица 3. Тематика публикаций на страницах в социальных сетях ООО «Натуральное молоко»

Table 3. Publication topics in social nets for Naturalnoe Moloko LLC

Темы публикаций	Социальные сети			
	VK	Telegram	RuTube	TikTok
Информация об актуальных акциях и скидках, конкурсах и розыгрышах	+	+	–	–
Публикации с интересными фактами о производимой продукции	+	+	–	+
Рецепты с использованием продукции компании	+	+	+	+
Развлекательный контент, направленный на привлечение внимания к продукции	–	–	–	+
Публикации, освещающие процесс производства	+	–	+	+
Новости о компании и ее продукции	+	+	–	+

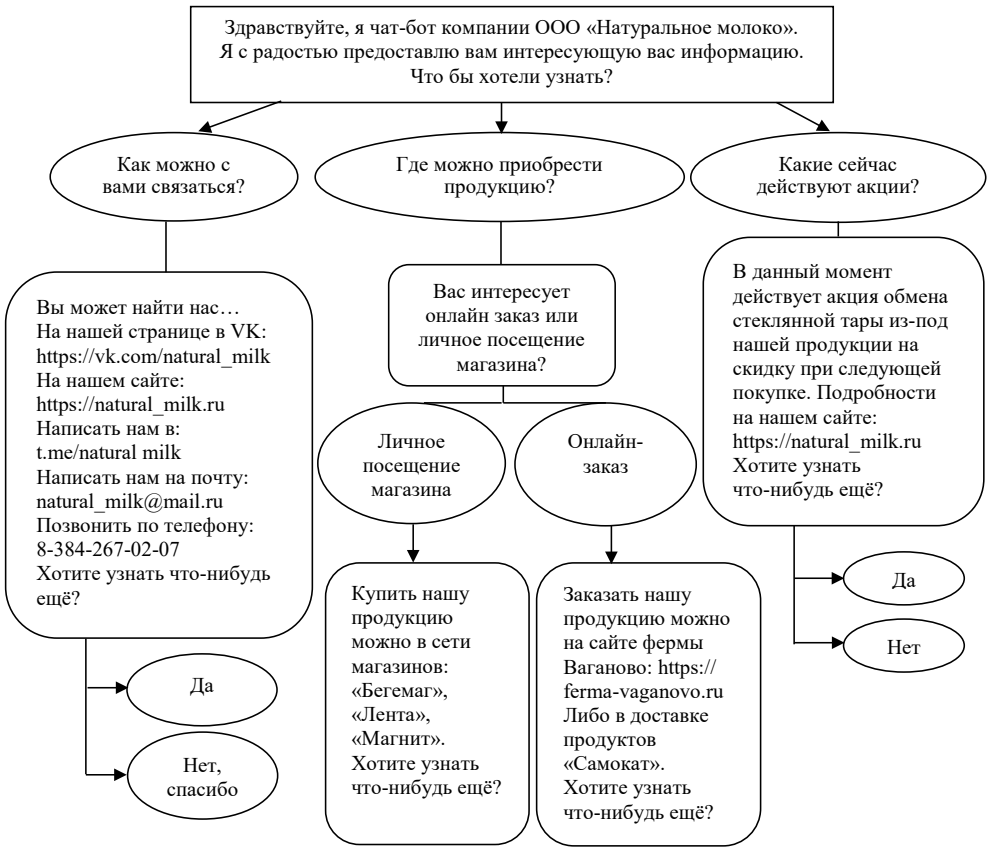


Рисунок 7. Сценарий для чат-бота ООО «Натуральное молоко»

Figure 7. Chat-bot script for Naturalnoe Moloko LLC

Средства на реализацию данных рекомендаций можно найти посредством перераспределения бюджета с низкой рекламной активностью, которая существует у компании, но почти не приносит результатов из-за отсутствия упора на нее и должного внимания. Данные средства принесут больше пользы в создании и продвижении сайта и страниц в социальных сетях. Когда прибыль компании выйдет к положительным значениям, то будет возможно вернуть бюджет на рекламу, увеличив его вместе с активностью, уделяемой этой деятельности.

Создание сайта и страниц в социальных сетях является базой, способной обеспечить дальнейшее продвижение. При их отсутствии у потребителя нет никакой информации о бренде и производимой продукции, за исключением информации с этикеток.

Помимо этого, данные методы продвижения способствуют укреплению доверия, лояльности и приверженности потребителей к бренду. Прозрачность производства, актуальная информация о продукции и скидках привлекают не только имеющихся покупателей, но и потенциальных для преодоления всех возможных коммуникационных барьеров восприятия.

Выводы

К основным результатам создания и ведения сайта и социальных сетей можно отнести:

1. Повышение осведомленности о бренде и производимой продукции. Как показали результаты исследования, более 50 % потребителей молочной продукции не знакомы с марками «Фермерское» и «Сельское». Повысив у покупателей осведомленность о данном бренде, можно увеличить объемы продаж и прибыли;

2. Получение обратной связи. ООО «Натуральное молоко» практически не имеет возможности получать обратную связь от своих потребителей. Следовательно, может лишь косвенно выявлять недостатки в своей продукции. Получение обратной связи от потребителей позволило бы эффективно анализировать свою деятельность, принимая во внимание желания покупателей;

3. Позиционирование компании. Рассказывая о себе, своей миссии, продукции и ценностях, ООО «Натуральное молоко» может создать свой образ в глазах потребителей, который позволит привлечь их внимание и запомниться среди множества других брендов;

4. Создание репутации компании. ООО «Натуральное молоко» занимается активной выставочно-ярмарочной деятельностью, благотворительностью и участием в различных городских и областных мероприятиях. Но лишь малая часть из этого освещается в СМИ. С появлением страниц в социальных сетях и сайта компания сможет афишировать свою деятельность, создавая положительную репутацию в глазах потребителей;

5. Улучшение видимости в поисковых системах. При поиске молочной продукции, производимой в Кемеровской области или напрямую ООО «Натуральное молоко», можно будет найти информацию напрямую от компании, а не на сторонних сайтах, обладающих финансово-экономическими данными о компании;

6. Увеличение и поддержание доверия и лояльности к бренду. Как показало проведенное исследование, потребителям важна доступность информации о продукте. Именно это смогут обеспечить сайт и страницы в социальных сетях. Помимо этого, компания, публикующая процесс своего производства и показывающая его, вызывает у потребителей больше доверия;

7. База для запуска рекламы. Реклама, ведущая при нажатии «в никуда», не вызывает доверия. У потребителя отсутствует возможность подробнее узнать о рекламируемой продукции, условиях акции и т. д. После создания сайта и социальных сетей запускать рекламу станет проще и эффективнее;

8. Предоставление потенциальным партнерам информации о себе. ООО «Натуральное молоко» ориентируется не только на рынок B2C, но и на рынок B2B. Наличие сайта с вкладкой «партнерство» и «отчетность» могут поспособствовать заключению новых контрактов. Потенциальные партнеры сразу смогут ознакомиться с условиями сотрудничества и документацией компании, что позволит им принять решение о том, подходит ли им или нет ООО «Натуральное молоко» как поставщик молочной продукции;

9. Социальные сети увеличивают трафик на сайт. Помимо самостоятельных плюсов страниц в социальных сетях, они также позволяют наращивать количество просмотров сайта;

10. Социальные сети – бесплатная площадка для рекламы. Если осуществлять правильное ведение социальных сетей, обновляя информацию, размещая качественный и интересный контент, соответствующий трендам и тенденциям в отрасли и в мире, то такие посты будут привлекать внимание потенциальных потребителей.

Таким образом, реализация данных рекомендаций позволит улучшить маркетинговые коммуникации компании, создав основу для превентивного устранения ошибок и коммуникационных барьеров восприятия и взаимодействия, которые присущи предприятиям молочной промышленности: барьеры восприятия и взаимодействия. Данные мероприятия необходимо рассматривать большинству малых и средних предприятий молочной промышленности для выстраивания эффективной системы маркетинговых коммуникаций и продвижения своего товара в условиях конкурентной борьбы.

Критерии авторства

М. А. Шемчук руководила работой. Все авторы принимали участие в исследованиях, обработке данных и написании текста и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

M.A. Shemchuk supervised the project. All the authors participated in the research, data processing, and writing and are equally responsible for any potential plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Amirova DR, Khramova AI. Theory of marketing communications. E-Scio. 2019;30(3):119–124. (In Russ.). [Амирова Д. Р., Храмова А. И. Маркетинговые коммуникации: теоретический аспект // E-Scio. 2019. Т. 30. № 3. С. 119–124.]. https://elibrary.ru/YXCFHB

2. Vaysman VB, Yasireva AA. Marketing communications for small business. PNRPU Sociology and Economics Bulletin. 2018;(4):275–284. (In Russ.). https://doi.org/10.15593/2224-9354/2018.4.22

3. Fomin AA, Mikhailina EI. Analysis of the main food markets in the context of the spread of COVID-2019 coronovirus and prospects for overcoming the crisis. Moscow Economic Journal. 2020;(5). https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10364

4. Yankovskaya VS, Dunchenko NI, Mikhaylova KV. New structured dairy products based on quality complaints and risk qualimetry. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(1):2–12. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-2-12

5. Dorofeeva VV. Methodical approach to the assessment of the strategic competitiveness of an industrial enterprise. Issues of Social-Economic Development of Siberia. 2018;34(4):35–42. (In Russ.). [Дорофеева В. В. Методический подход к оценке стратегической конкурентоспособности промышленного предприятия // Проблемы социально-экономического развития Сибири. 2018. Т. 34. № 4. С. 35–42.]. https://elibrary.ru/YUDHAD

6. Huseynov RR. Implementation of IMC in the company through the creation of a multi-level integration system. Communicology: Online Scientific Journal. 2020;5(2):8–12. (In Russ.). [Гусейнов Р. Р. Внедрение ИМК в компании через создание многоуровневой системы интеграции // Коммуникология: электронный научный журнал. 2020. Т. 5. № 2. С. 8–12.]. https://elibrary.ru/RGIFXD

7. Shchetinina IV. Application of digital technologies of advancement to improve product competitiveness. Ekonominfo. 2018;15(4):49–53. (In Russ.). [Щетинина И. В. Применение цифровых технологий продвижения для повышения конкурентоспособности продукции // Экономинфо. 2018. Т. 15. № 4. С. 49–53.]. https://elibrary.ru/YPSCMH

8. Amirova DR, Zaporozhets OI. Social media marketing as an effective tool promotion. The Eurasian Scientific Journal. 2019;11(2). [Амирова Д. Р., Запорожец О. И. Социальный медиа-маркетинг как эффективный инструмент продвижения // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11. № 2.]. https://elibrary.ru/JJLKXC

9. Grigor'ev NYu, Chvyakin VA. Brand promotion in social networks through digital marketing. Economics: Yesterday, Today and Tomorrow. 2019;9(6–1):192–201. (In Russ.). [Григорьев Н. Ю., Чвякин В. А. Продвижение бренда в социальных сетях средствами цифрового маркетинга // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2019. Т. 9. № 6–1. С. 192–201.]. https://www.elibrary.ru/VMCTYE

10. Kurakin MS, Ozherel'eva AV, Motyreva OG, Krapiva TV. A new approach to the development of food products. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):434–448. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-434-448

11. Vásquez-Mazo P, Loredo AG, Ferrario M, Guerrero S. Development of a novel milk processing to produce yogurt with improved quality. Food and Bioprocess Technology. 2019;12:964–975. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02269-z

12. Yurova EA. Quality and safety control of dairy products. Milk processing. 2019;234(4):6–9. (In Russ.). [Юрова Е. А. Особенность контроля молочной продукции по показателям качества и безопасности // Переработка молока. 2019. Т. 234. № 4. С. 6–9.]. https://www.elibrary.ru/KLXMWE

13. Fedotova OB, Pryanichnikova NS. Research of the polyethylene packaging layer structure change in contact with a food product at exposure to ultraviolet radiation. Food Systems. 2021;4(1):56–61. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-56-61

14. Rusinova DYu, Voronova MS, Voronov MP. Consumer orientation – the principle of total quality management. Scientific Review. Economic Sciences. 2018;(2):11–17. (In Russ.). [Русинова Д. Ю., Воронова М. С., Воронов М. П. Ориентация на потребителя – принцип всеобщего управления качеством // Научное обозрение. Экономические науки. 2018. № 2. С. 11–17.]. https://www.elibrary.ru/XZRBOP

15. Shemchuk MA, Shadrin VG, Komarcheva OS, Konovalova OV. Digital marketing communications in the sports nutrition market. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(1):178–188. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-178-188

16. Shemchuk MA, Lobach EYu. Kemerovo chocolate market: Consumer preferences. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(1):159–165. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-159-165

17. Singh H, Bhardwaj SK, Khatri M, Kim K-H, Bhardwaj N. UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. Chemical Engineering Journal. 2021;417. https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128084

18. Li Z, Liu D, Xu S, Zhang W, Hemar Y, Regenstein JM, *et al.* Effects of pasteurization, microfiltration, and ultraviolet-c treatments on microorganisms and bioactive proteins in bovine skim milk. Food Bioscience. 2021;43. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101339

19. Kryuk RV, Kurbanova MG, Kolbina AYu, Plotnikov KB, Plotnikov IB, Petrov AN, *et al.* Color sensors in smart food packaging. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):321–333. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2366

20. Ustimkin OA. Evaluation and ways to increase the competitiveness of the enterprise. Young Scientists' Forum. 2019;29(1–3):677–682. (In Russ.). [Устимкин О. А. Оценка и пути повышения конкурентоспособности предприятия // Форум молодых ученых. 2019. Т. 29. № 1–3. 677–682.]. https://www.elibrary.ru/SULAVE

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2434
https://elibrary.ru/VQPHTN

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Effect of Moisture Content on the Quality and Quantity of Screw-Pressed Flax Seed Oil

Jahongir H. Hasanov[1,*], Sherzod D. Mirzaxmedov[2], Elvira M. Sultonova[1], Shavkat I. Salikhov[1]

[1] *A.S. Sadykov Scientific Institute of Bioorganic Chemistry, Tashkent, Uzbekistan*

[2] *Islam Karimov Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan*

Received: 22.07.2022
Revised: 30.08.2022
Accepted: 06.09.2022

**Jahongir H. Hasanov: hasanovjahongir1980@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-4095-8734*
Sherzod D. Mirzaxmedov: https://orcid.org/0000-0003-3378-5679
Elvira M. Sultonova: https://orcid.org/0000-0002-9860-6814
Shavkat I. Salikhov: https://orcid.org/0000-0002-7296-1412

© J.H. Hasanov, Sh.D. Mirzaxmedov, E.M. Sultonova, Sh.I. Salikhov, 2023

Abstract.
Healthy foods and green processing are currently in the focus of scientific attention. Flax is considered a superfood that includes numerous beneficial ingredients. Its oil is a great source of polyunsaturated fatty acids. However, the heat-sensitive futures of the polyunsaturated fatty acids require low-temperature methods. Screw pressing can produce oils at lower temperatures, but a lower oil capacity makes it less advantageous. Pre-treatment of seeds as a crucial pre-processing stage affects the quality and quantity of oil. This research featured the effect of moisture content in flax seeds on the quantity and quality flax seed oil. The study involved local flax (*Linum usitatissimum* L.) from the Qashqadaryo Region, Uzbekistan. Standard methods were used to define the quality parameters of oil, i.e., acid value, free fatty acids content, peroxide value, oil recovery, and sediment content. Regression equations were obtained using the method of regression analysis.
The highest oil recovery of 40.99% was observed at the moisture content of 9.56%. At 7.55%, the oil recovery dropped by 3.17%. The sediment content in the oil increased at lower moisture contents in the flax seeds (14.62–5.55%). The acid value, peroxide value, and free fatty acid content demonstrated both downward and upward trends when the moisture content increased. The moisture content in flax seeds affected the quality and quantity profile of screw-pressed oil. The optimal parameters of oil processing can yield health-beneficial and highly nutritional oil.

Keywords. Screw pressing, moisture content, oil recovery, sediment content, peroxide value, acid value, free fatty acids

For citation: Hasanov JH, Mirzaxmedov ShD, Sultonova EM, Salikhov ShI. Effect of Moisture Content on the Quality and Quantity of Screw-Pressed Flax Seed Oil. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):309–315. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2434

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2434
https://elibrary.ru/VQPHTN

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Влияние содержания влаги на качество и количество льняного масла шнекового отжима

Ж. Х. Хасанов[1,*], Ш. Д. Мирзахмедов[2], Э. М. Султонова[1], Ш. И. Салихов[1]

[1] *Институт биоорганической химии имени академика А. С. Садыкова, Ташкент, Республика Узбекистан*

[2] *Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, Ташкент, Республика Узбекистан*

Поступила в редакцию: 22.07.2022
Принята после рецензирования: 30.08.2022
Принята к публикации: 06.09.2022

**Ж. Х. Хасанов: hasanovjahongir1980@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-4095-8734*
Ш. Д. Мирзахмедов: https://orcid.org/0000-0003-3378-5679
Э. М. Султонова: https://orcid.org/0000-0002-9860-6814
Ш. И. Салихов: https://orcid.org/0000-0002-7296-1412

© Ж. Х. Хасанов, Ш. Д. Мирзахмедов, Э. М. Султонова, Ш. И. Салихов, 2023

Аннотация.
В последнее время в центре внимания ученых все чаще оказываются различные аспекты полезного и экологичного питания. Лен относят к категории т. н. суперпродуктов, которые включают в себя множество полезных ингредиентов. Например, льняное масло является отличным источником полиненасыщенных жирных кислот. Однако термочувствительные полиненасыщенные жирные кислоты не терпят термической обработки. Шнековое прессование позволяет производить льняное масло при более низких температурах, но низкий выход продукта делает этот метод невыгодным. Повысить качество масла и увеличить его выход может предварительная обработка семян. Данное исследование было посвящено влиянию содержания влаги в семенах льна на количество и качество льняного масла.
В эксперименте использовали лен (*Linum usitatissimum* L.) из Кашкадарьинской области Узбекистана. Для определения таких параметров, как кислотное число, содержание свободных жирных кислот, перекисное число, выход масла и содержание осадка, использовались стандартные методы. Уравнения регрессии были получены с использованием метода регрессионного анализа.
Наибольший выход масла (40,99 %) наблюдался при влажности 9,56 %. При влажности 7,55 % этот показатель снизился на 3,17 %. Содержание осадка в масле увеличивалось при более низкой влажности семян льна (14,62–5,55 %). При увеличении содержания влаги кислотное число, перекисное число и содержание свободных жирных кислот демонстрировали как тенденцию к снижению, так и к повышению.
Данное исследование показало, что содержание влаги в семенах льна влияет на качественный и количественный профиль масла шнекового отжима. Оптимальные параметры переработки позволяют получить полезное для здоровья и высокопитательное масло.

Ключевые слова. Шнековое прессование, влажность, выход масла, содержание осадка, перекисное число, кислотное число, свободные жирные кислоты

Для цитирования: Влияние содержания влаги на качество и количество льняного масла шнекового отжима / Ж. Х. Хасанов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 309–315. (На англ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2434

Introduction

Flax seed (*Linum usitatissimum* L.) oil is a health-beneficial food because it is rich in polyunsaturated fatty acids and other bioactive components [1]. For instance, 40% of oil and fatty acid composition are represented by *α*-linoleic acid (~ 53%), oleic acid (~ 19%), linoleic acid (~ 17%), palmitic acid (~ 5%), and stearic acid (~ 3%) [2]. In addition, flax seed oil has a favourable n-6/n-3 fatty acids ratio of 0.3:1 [3, 4]. Flax seed oil also contains bioactive plant substances, such as protein, dietary fiber, soluble polysaccharides, lignans, phenolic compounds, vitamins (A, C, F, and E) and minerals (P, Mg, K, Na, Fe, Cu, Mn, and Zn) [5, 6].

Commercial flax seed oil is usually recovered by cold pressing. Higher temperatures fasten extraction and increase the yield but may lead to thermal degradation,

especially if the oil is rich in polyunsaturated fatty acids. Moreover, oils with a higher omega-3 content should be processed with extra care at the lowest temperatures possible in order to avoid deterioration and prolong stability [7, 8].

Pressing is the optimal method of oil manufacturing: it is energy-efficient and requires neither expensive equipment nor organic solvents [9]. However, the oil yield is low, and a lot of oil remains in the cake [10, 11]. The oil volume depends on process variables, and by adjusting them, producers can increase the oil volume [12].

Oil recovery can be improved by many ways, e.g., by changing such process parameters as temperature, pressure, screw rate, meal size. Pre-treatments are another option, e.g., dehulling, steaming, size reduction, extrusion, enzymatic hydrolyses, etc. [13].

On the one hand, the abovementioned variables can be changed and developed directly by the engineers and technologists to achieve a particular goal. However, the moisture content in seeds is difficult to control prior to commercial scale operations and storage. Air humidity may accumulate on the seed surface during storage if the original moisture content is lower than the air humidity. If the moisture content in seeds is higher than the air humidity, they may dry during storage. Therefore, the quality of raw material is an important factor that affects oil quality [14].

On the other hand, moisture content in flax seeds may affect the performance of the press and the resulting oil parameters. If the moisture content is low, in may cause increment of oil yield. Higher processing temperatures may cause oxidation and deterioration of oil, which, as a result, cannot be labelled as cold-pressed [15, 16].

Improper conditioning of seeds may increase the temperature of seeds and oil during pressing whereas appropriate conditioning improves the oil removal efficiency [17, 18]. Sediment content is another factor that is very difficult to predict: the results differ depending on the seed type and sometimes even for the same seed type of seed. Sediment content depends on the nature of seeds, initial moisture content, harvesting conditions, storage, seed variety, screw-pressing parameters, etc.

The present research objective was to determine the effect of the moisture content of flax seeds grown in Uzbekistan on the peroxide value, acid value, free fatty acids content (oleic acid), and sediment content of oil.

Study objects and methods

Flax seeds (*Linum usitatissimum* L.) were brought from the Qashqadaryo Region, Uzbekistan. The milling lasted 10 s in a lab scale miller (RRH-350, China). The initial moisture content was determined according to the procedure described in State Standard 10857-64 and State Standard 10856-96.

Moisture content. The samples of flax seeds were weighed using a balance (Scout Pro SPS602F, max weight 600 g, China) and divided into six groups of 0.5 kg each. In the first group of (2×0.5 kg), the moisture content remained at the initial level of 5.55% w.b. The other five seed groups were conditioned by applying equation for the desired moisture content denoted as 2% for each sample [1].

$$x = \frac{M_i (W_f - W_i)}{100 - W_i} \quad (1)$$

where x is the mass of water to be added; M_i is the initial mass of the sample; W_i is the initial moisture content of the sample in % w.b.; W_f is the final (targeted) moisture content in % w.b.

The calculated amount of distilled water was added into each sample and mixed thoroughly. The conditioned groups were sealed in polyethylene bags. All the samples were stored in a refrigerator at 5°C for 7 days to achieve equilibration with the added water. After that, the samples were kept at room temperature for 2 h. The moisture contents were determined prior to the trials of pilot plant pressing. The real moisture contents were 5.55, 7.55, 9.56, 11.06, 14.62, and 15.57% for future trials. The moisture content determination was triplicated for each sample.

Oil quality parameters. We determined the peroxide value, free fatty acid content, and acid value for each group. Food sector offers no special regulations to evaluate flax seed oil quality parameters, but Codex Alimentarius Commission developed standards for virgin oils and cold-pressed fats and oils [19].

Free fatty acids, peroxide values, and acid values of oil samples were determined according to State Standard 31933-212 and State Standard 27107-2016. All quality tests were repeated five times.

Screw pressing. We used a screw press (Nsh-150, 1214 HII, Tashkent, Uzbekistan) that can be applied to sunflower seeds, soy beans, and flax seeds. Its capacity was 15–75 kg/h, the main electromotor power was 16 kw, and the residual oil of the cake was 9–12%. The interior diameter of the screw shaft was 140 ± 4 mm, while the distance between oil outlet holes equalled 0.12 ± 0.02 mm. The press cake discharging place could be adjusted between 10.3 and 26.3 mm (Fig. 1).

The experiments were performed as described below. The flax seed samples were fed to the hopper. The samples (0.5 kg) were processed by the following moisture content: 5.55, 7.55, 9.56, 11.06, 14.62, and 15.57%. The trials were conducted at constant parameters: the frequency was 15 Hz, the distance to the meal outlet was 1.25 mm.

We used 1 kg of seeds to adapt the screw press to the working conditions. The experiments lasted 15~25 min. After that, the flow of the cake and oil was stopped at the exit of the press, and the next trial started. The experiments were carried out in duplicate, and the oil with its sediments was gathered in a glass container.

Sediment content in oil. The sediment was separated from residues via centrifugation (Tslmn-P10-01-Elekon,

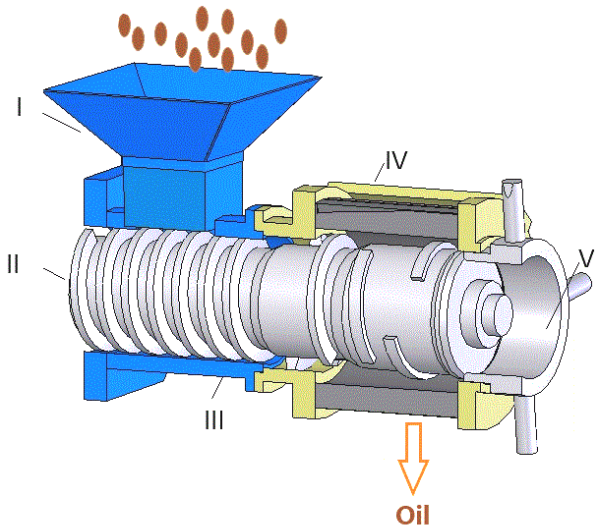


Figure 1. Screw press flow chart: I – fed hopper, II – screw, III – press cylinder, IV – outlet holes, V – meal outlet

Рисунок 1. Схема шнекового пресса: I – загрузочная воронка, II – шнек, III – цилиндр пресса, IV – выходные отверстия, V – выход шрота

Russia); the solid phase was washed with chloroform and separated using a vacuum filter. The sediment was dried and weighed. The sediment was dried and weighed. Its content in oil was determined by calculating the ratio between sediment content and recovered oil.

Oil recovery calculation. The oil recovery (OR, %) were calculated as the ratio of extracted oil to the initial amount of oil in the seeds:

$$OR = \left(1 - \frac{Wm \times Com}{Wrm \times Corm}\right) \times 100$$

where *Wm* is the weight of meal; *Com* is the content of oil in meal; *Wrm* is the weight of raw material; *Corm* is the content of oil in raw material.

Results and discussion

Oil recovery and sediment content. By increasing the moisture content of the flax seeds, we affected the oil recovery directly. For several moisture contents, a variation of oil recovery was observed during flax seed pressing. When the moisture content reached 5.55~9.56% w.b., the oil recovery increased from 24.89 to 40.99% (Fig. 2a). However, the group with 11.05% w.b. moisture content caused plugging in the screw press. Some cake came from the outlet of the press and stopped it, thus increasing the temperature of the head of the press. The pressing was stopped and continued only after the temperature of the head decreased. No plugging problem was observed for other moisture contents. Yun *et al.* faced the same plugging problem at the beginning of the pressing, but in our case, it occurred in the middle of the moisture contents (11.05%), which may be due to the high temperature of the head [20]. However, other studies showed that this issue appeared in the lower moisture contents. The highest oil recovery was registered when the moisture content of dehulled flax seeds was below 6% [21]. However, a higher moisture content does not neccesserily lead to plugging.

When the moisture content of seeds was 11.05–15.57% w.b., the oil recovery decreased moderately from 13.17 to 4.34% (Fig. 2a). The general trend of our study was that we achieved a greater flax seed oil recovery at a lower moisture content while a higher initial moisture content was responsible for a lower oil yield. Probably, the high moisture contents and humidity in the raw material had a lubricating effect and reduced the friction inside the press. Moreover, wet seeds had a greater plasticity, which might also decrease the pressure inside the press. Other studies report that the friction grew stronger inside the barrel when the moisture content decreased [22, 23]. Perhaps, the friction resistance caused high temperatures inside the barrel. As a result, the oil viscosity decreased inside the seed pores, and the oil could move easier through them.

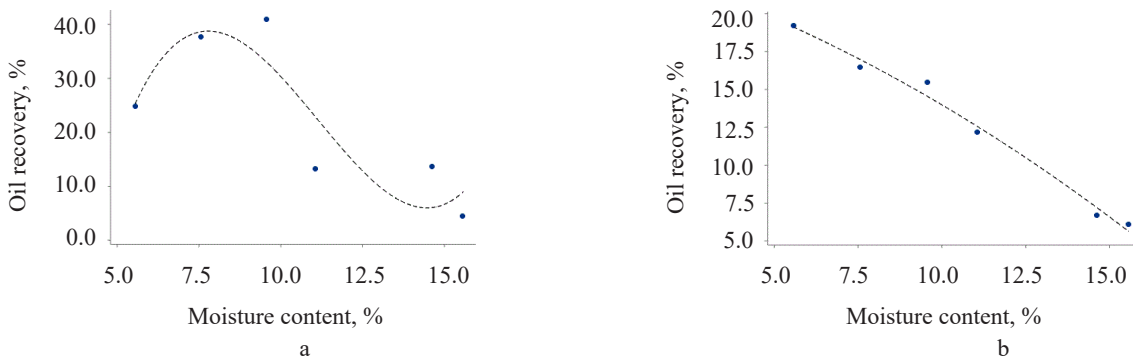


Figure 2. Impact of moisture content of flax seeds on oil recovery (a) and sediment content in oil (b)

Рисунок 2. Влияние влажности семян льна на выход масла (a) и содержание осадка (b)

The general trend we detected in our experiments was in line with the previous studies. The highest oil percentage was recovered at 9.56% moisture content; the oil recovery decreased as the moisture content reached 9.56% w.b. Mridula *et al.* obtained the best oil recovery (82.91%) at 6.4% moisture content [21]. Singh *et al.* reported that the flax seed moisture content fell from 13.8 to 6.5% w.b. whereas the oil recovery showed inverse results [22]. Yun *et al.* managed to enhance their oil recovery (70.1–80.57%) when they reduced the moisture content from 11.06 to 6.1% w.b. respectively at the 6-mm choke size [20]. The data for oil recovery were different because they depended on the capacity of the screw press, distribution of moisture among the seeds, the seed type, etc. Also, the cake obtained at the highest moisture content looked more customer-appealing than the samples obtained at the lowest moisture content.

The sediment content in oil increased significantly from 6.07 to 19.2% when the moisture content decreased from 15.57 to 5.55% (Fig. 2b). Our results for the sediment content were higher compared to other studies. The difference might have been caused by the frictional resistance. Mridula *et al.* observed the highest sediment content when the moisture content in the seeds was 6.4% [21]. However, when Singh *et al.* increased the moisture content of the flax seeds from 6.5 to 13.8%, the sediment content in oil did not change significantly [22].

The quality of oil depends on many factors, such as genotype, harvesting, geography, storage, and processing. Other studies applied no special standard for flax seed oil quality to evaluate cold-pressed oils (Australia New Zealand Food Standards Code. Standard 2.4.1. Edible oils and New Zealand Food Regulation. General standard for edible fats and edible oils) [19].

Table 1 summarizes the effect of moisture contents in the flax seeds on the quality parameters of oil, e.g., acid value, peroxide value, and free fatty acids. The acid value demonstrated a downward trend 2.65~ 1.47 mg KOH/g as the moisture content increased from 5.55 to 11.05% w.b. However, acid values increment (1.79 and 1.905 mg KOH/g) occurred at the moisture contents of 14.62 and 15.57% w.b., respectively. According to the standard for edible fats and oils, the highest limit of acid value is 4.0 mg KOH/g [19]. Our results did not exceed the recommended limit. The acid values decreased faster when the moisture content reached 11.05% and increased together with the moisture content. The content of free fatty acids (oleic, %) declined from 1.33 to 0.74% when the moisture content was below 11.05% w.b. The maximal content of free fatty acids in oil never exceeded 2%. However, the presence of free fatty acids in oils is known to be an indicator of oil degradation, and their content depends on time, temperature, and moisture [23]. In our study, the free fatty acids followed the same pattern as the acid value.

The acid value increased from 21.59 to 24.39 mg KOH/g when the moisture content was 6.3–13.2% but declined at 16.6% moisture content. In a study that featured neem seeds, Adejumo *et al.* reported that the free fatty acid content also demonstrated upward and downward behaviour depending on the moisture content in the seeds [25]. In the same study, the acid value and the free fatty acid content decreased when the moisture content fell below 15% and then stabilized. However, the below-mentioned studies reported that a higher moisture content increased the contents of acid value and free fatty acids. For instance, when the moisture content of the seeds increased from 5 to 10%, the acid value of the unroasted rapeseed cold-pressed oil increased slightly [13]. When Rokosik *et al.* increased the moisture content during 14 days of storage, the acid value of the cold-pressed canola oil increased as well [26].

The peroxide value of oil is an empirical expression of oxidation which develops early during lipid oxidation. Like other quality aspects of the oil, the peroxide value decreased when the moisture content increased. The highest peroxide value was 4.25 mEq/kg at 5.55% w.b moisture content, and the lowest peroxide value of 1.62 mEq/kg was detected at 14.62% w.b. moisture content. However, the peroxide value increased a little when the moisture content was at its highest (15.57% w.b.) (Table 1). For all moisture contents in this study, the peroxide value remained within the maximal limit for cold-pressed oil in Codex Alimentarius [19]. Adejumo *et al.* bserved the same decrease trend in the peroxide value for neem oil when the moisture content was above 10% [25]. However, other studies reported an increase in the peroxide value of oil caused by increasing the moisture content in unroasted canola seeds [19, 26].

Table 1. Effect of moisture content on oil quality properties

Таблица 1. Влияние содержания влаги на показатели качества масла

Moisture content, % / Oil properties	5.55 w.b.	7.55 w.b.	9.56 w.b.	11.05 w.b.	14.62 w.b.	15.57 w.b.	Recommendations
Acid value, mg KOH/g	2.65 ± 0.28	2.20 ± 0.74	1.79 ± 0.22	1.47 ± 0.23	1.79 ± 0.15	1.905 ± 0.110	4*
Free fatty acids (oleic, %)	1.33 ± 0.19	1.10 ± 0.11	0.90 ± 0.09	0.74 ± 0.05	0.900 ± 0.175	0.957 ± 0.140	< 2**
Peroxide value, mEq/kg	4.20 ± 0.42	4.00 ± 0.38	2.34 ± 0.15	2.10 ± 0.22	1.62 ± 0.11	1.66 ± 0.11	15*

* Codex Alimentarius Commission [19];

** G. Nagaraj [24].

Table 2. Regression equations for oil recovery, sediment content, acid value, free fatty acids, and peroxide value

Таблица 2. Уравнения регрессии для нефтеотдачи, осадка, кислотного числа, свободных жирных кислот и перекисного числа

Quality and quantity characteristics	Models	Numbers of models	R^2
Oil recovery, %	$-199.1 + 74.4\ MC_{(wb)} - 7.3MC^{2}_{(wb)} + 0.2MC^{3}_{(wb)}$	(1)	77.80
Sediment content, %	$23.66–0.6\ MC_{(wb)} - 0.03MC^{2}_{(wb)}$	(2)	98.81
Acid value, mg KOH/g	$5.4–0.6\ MC_{(wb)} + 0.02MC^{2}_{(wb)}$	(3)	96.28
Free fatty acids (oleic, %)	$2.7–0.3\ MC_{(wb)} + 0.01MC^{2}_{(wb)}$	(4)	96.46
Peroxide value, mEq/kg	$8.6–0.9\ MC_{(wb)} + 0.021MC^{2}_{(wb)}$	(5)	93.27

MC – moisture content.

MC – содержание влаги.

The coefficient of determination R^2 means the degree of the fitness of regression model to the data observed. Table 2 shows that Model 1 demonstrated a lower coefficient of determination (R) with 77.8%. In this particular case, R was 77.8% of variance of oil recovery, that corresponded to the moisture content share. In term of sediment content, the coefficient of determination was high enough with 98.81%. Perhaps, the sediment content depended more on the moisture content in the flaxseed than Model 1. Also, Model 3 demonstrated high R value (96.28%) for the acid value. The model of free fatty acids and moisture content relationship had a similar R value of 96.46%. The coefficient of determination for the peroxide value was 93.27%. Overall, the models demonstrated a substantial ability to fit the experimental data. Perhaps, the remaining part of determination coefficients were due to the other influencing factors that were not taken in account in our case (Table 2).

Conclusion

The moisture content of flax seeds affected the quality and quantity of oil. The oil recovery increased when the moisture content decreased. By establishing a suitable moisture content of the flax seeds, producers can achieve the pre-planned goals of production in terms of oil quality and quantity.

Contribution

All the authors equally took part in the research and are equally responsible for any potential plagiarism.

Conflict of interest

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

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to the Institute of Bioorganic Chemistry of the Academy of Sciences of Uzbekistan for their support of the laboratory facilities.

Критерии авторства

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность Институту биоорганической химии Академии наук Узбекистана за поддержку в проведении лабораторных исследований.

References/Список литературы

1. Teh S-S, Morlock GE. Effect-directed analysis of cold-pressed hemp, flax and canola seed oils by planar chromatography linked with (bio)assays and mass spectrometry. Food Chemistry. 2015;187:460–468. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.043

2. Dzuvor CKO, Taylor JT, Acquah C, Pan S, Agyei D. Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed. Molecules. 2018;23(10). https://doi.org/10.3390/molecules23102444

3. Grajzer M, Szmalcel K, Kuźmiński Ł, Witkowski M, Kulma A, Prescha A. Characteristics and antioxidant potential of cold-pressed oils – Possible strategies to improve oil stability. Foods. 2020;9(11). https://doi.org/10.3390/foods9111630

4. Hasanov J, Navro'zov S. Extraction of seed oils with rich soaress of fatty asids. Proceedings of Sceitific Conference of PhD Studends of FAFR, FBFS and FHLESUA; 2019; Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra; 2019. p.75.

5. Jheimbach LLC, Port Royal VA. Determination of the GRAS status of the addition of whole and milled flax seed to conventional foods and meat and poultry products [Internet]. [cited 2022 Jun 20]. Available from: https://wayback.archive-it.org/7993/20170607013434%20/https://www.fda.gov/downloads/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/NoticeInventory/UCM269248.pdf

6. Al-Hassawi F, Al-Ghanim J, Al-Foudari M, Al-Othman A, Sidhu JS. Effects of flaxseed on the nutritional and sensory qualities of pan and Arabic flat breads. Foods and Raw Materials. 2023;11(2):272–281. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-571

7. Grajzer M, Wiatrak B, Gębarowski T, Matkowski A, Grajeta H, Rój E, *et al.* Chemistry, oxidative stability and bioactivity of oil extracted from *Rosa rugosa* (Thunb.) seeds by supercritical carbon dioxide. Food Chemistry. 2021;335. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127649

8. Sydow Z, Idaszewska N, Janeba-Bartoszewicz E, Bieńczak K. The influence of pressing temperature and storage conditions on the quality of the linseed oil obtained from *Linum Usitatissimum* L. Journal of Natural Fibers. 2021;18(3):442–451. https://doi.org/10.1080/15440478.2019.16288667

9. Bhargavi G, Nageswara Rao P, Renganathan S. Review on the extraction methods of crude oil from all generation biofuels in last few decades. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018;330. https://doi.org/10.1088/1757-899X/330/1/012024

10. Shim YY, Gui B, Wang Y, Reaney MJT. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil processing and selected products. Trends in Food Science and Technology. 2015;43(2):162–177. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.03.001

11. Willems P, Kuipers NJM, De Haan AB. Hydraulic pressing of oilseeds: Experimental determination and modeling of yield and processing rates. Journal of Food Engineering. 2008;89(1):8–16. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.023

12. Kalogianni EP, Georgiou D, Hasanov JH. Olive oil processing: Current knowledge, literature gaps, and future perspectives. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2019;96(5):481–507. https://doi.org/10.1002/aocs.12207

13. Jahongir HH, Sherzod DM, Shavkat IS. Screw pressed (*Linum usitatissimum*) oil. Book of Abstracts of the 5th International Scientific Conference Agrobiodiversity for Improving the Nutrition, Health, Quality of Life and Spiritual Human Development; 2021; Nitra. Nitra: Slovak University of Agriculture; 2021. p. 59. https://doi.org/10.15414/2021.9788055224015

14. Siger A, Józefiak M, Górnaś P. Cold-pressed and hot-pressed rapeseed oil: The effects of roasting and seed moisture on the antioxidant activity, canolol, and tocopherol level. Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria. 2017;16(1):69–81. https://doi.org/10.17306/J.AFS.2017.2017.0458

15. Singh J, Bargale PC. Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. Journal of Food Engineering. 2000;43(2):75–82. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00134-X

16. Wiesenborn D, Doddapneni R, Tostenson K, Kangas N. Cooking indices to predict screw performance for crambe seed. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2001;78(5):467–471. https://doi.org/10.1007/s11746-001-0287-y

17. Shim YY, Gui B, Wang Y, Reaney MJT. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil processing and selected products. Trends in Food Science and Technology. 2015;43(2):162–177. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.03.001

18. Oilseed processing for small-scale producers [Internet]. [cited 2022 Jun 20]. Available from: https://www.kpu.ca/sites/default/files/Oilseed%20Processing%20for%20Small-Scale%20Producers%20.pdf

19. Codex Alimentarius. Codex Standard for edible fats and oils not covered by individual standards [Internet]. [cited 2022 Jun 20]. Available from: https://www.fao.org/3/y2774e/y2774e03.htm#bm3

20. Zheng Y, Wiesenborn DP, Tostenson K, Kangas N. Screw pressing of whole and dehulled flaxseed for organic oil. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2003;80(10):1039–1045. https://doi.org/10.1007/s11746-003-0817-7

21. Mridula D, Barnwal P, Singh KK. Screw pressing performance of whole and dehulled flaxseed and some physico-chemical characteristics of flaxseed oil. Journal of Food Science and Technology. 2013;52(3):1498–1506. https://doi.org/10.1007/s13197-013-1132-6

22. Singh KK, Jhamb SA, Kumar R. Effect of pre-treatments on performance of screw pressing for flaxseed. Journal of Food Process Engineering. 2011;35(4):543–556. https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2010.00606.x

23. Mahesar SA, Sherazi STH, Khaskheli AR, Kandhroc AA, Unddin S. Analytical approaches for the assessment of free fatty acids in oil and fat. Analytical Methods. 2014;14(6):4956–4963. https://doi.org/10.1039/C4AY00344F

24. Nagaraj G. Oilseeds – Properties, processing, products and procedures. New Delhi: New India Publishing Agency; 2009. 602 p.

25. Adejumo BA, Inaede SG, Adamu TS. Effect of moisture content on the yield and characteristics of oil from *Moringa oleifera* seeds. Academic Research International. 2013;4(4):160–170.

26. Rokosik E, Dwiecki K, Siger A. The quality of cold-pressed rapeseed oil obtained from seeds of *Brassica napus* L. with increased moisture content. Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria. 2019;18(2):205–218. https://doi.org/10.17306/J.AFS.2019.0672

27. Singh KK, Wiesenborn DP, Tostenson K, Kangas N. Influence of moisture content and cooking on screw pressing of crambe seed. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2002;79(2):165–170. https://doi.org/10.1007/s11746-002-0452-3

28. Singh J, Bargale PC. Mechanical expression of oil from linseed. Journal of Oilseeds Research. 1990;7:106–110.

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2435
https://elibrary.ru/WQPQGB

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Безалкогольные напитки из пророщенной гречихи: технологические аспекты и пищевая ценность

М. Л. Зенькова[1,*], Л. А. Мельникова[1], В. Н. Тимофеева[2]

[1] *Белорусский государственный экономический университет, Минск, Республика Беларусь*

[2] *Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Могилев, Республика Беларусь*

Поступила в редакцию: 19.08.2022
Принята после рецензирования: 18.10.2022
Принята к публикации: 08.11.2022

**Mariya L. Zenkova: mariya_LZ@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3098-981X*
Ludmila A. Melnikova: https://orcid.org/0000-0002-0015-1832
Valentina N. Timofeeva: https://orcid.org/0000-0003-0498-1320

© M.L. Zenkova, L.A. Melnikova, V.N. Timofeeva, 2023

Аннотация.
Безалкогольные напитки на растительном сырье являются новой категорией продуктов в пищевой промышленности, и их популярность возрастает. Использование пророщенной гречихи (*Fagopyrum esculentum* Moench.) позволяет расширить ассортимент данных напитков. Цель работы заключалась в изучении влияния компонентного состава на технологию производства и пищевую ценность безалкогольных напитков из пророщенной гречихи.
Объекты исследования: водно-зерновые и водно-фруктово-зерновые смеси, а также модельные образцы гречневых напитков с фруктовыми компонентами (пюре из облепихи или черной смородины, яблочный сок). В работе применялись стандартные методы исследований, а также методы высокоэффективной жидкостной хроматографии и атомно-эмиссионной спектрометрии.
Замачивание зерна гречихи в воде с последующим его проращиванием при температуре 20 ± 2 °С в течение 46 ч приводило к повышению уровня микробной обсемененности. Для получения безопасного безалкогольного напитка необходимо проводить подогрев водно-зерновой суспензии при температуре 65 °С не менее 3 мин. Добавление фруктового компонента к водно-зерновой смеси позволило увеличить вязкость дисперсионной среды и время осаждения твердых частиц. Установлено, что для разрушения коллоидной системы после нагревания при температуре 98 ± 2 °С в течение 1 мин и уменьшения размера частиц смесь необходимо гомогенизировать. Смешивание измельченного пророщенного зерна гречихи с фруктовыми компонентами обеспечило получение продукта с гармоничным вкусом, который содержит сахара (6,72–8,04 г/100 см^3), органические кислоты (338,91–446,93 мг/100 см^3), минеральные вещества (0,07–0,08 %) и аминокислоты (лейцин, лизин, цистин и тирозин).
Протирание гречихи и последующая ее гомогенизация позволяют сохранить полезные вещества пророщенного зерна в напитке. Отмечено повышение сенсорных характеристик и пищевой ценности безалкогольных напитков при добавлении пюре из облепихи или черной смородины.

Ключевые слова. Гречиха, зерновое сырье, пророщенное зерно, напитки, облепиха, смородина, микрофлора, безопасность

Финансирование. Исследование проводилось при поддержке Министерства образования Республики Беларусь (источник финансирования – средства республиканского бюджета по договору от 22.02.2022 ГЗ 21-23/2022) в рамках задания «Разработка научно обоснованных решений, обеспечивающих интенсификацию переработки зернового сырья» ГПНИ № 9 «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность».

Для цитирования: Зенькова М. Л., Мельникова Л. А., Тимофеева В. Н. Безалкогольные напитки из пророщенной гречихи: технологические аспекты и пищевая ценность // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 316–325. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2435

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2435
https://elibrary.ru/WQPQGB

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Non-Alcoholic Beverages from Sprouted Buckwheat: Technology and Nutritional Value

Mariya L. Zenkova[1,*], Ludmila A. Melnikova[1], Valentina N. Timofeeva[2]

[1] *Belarus State Economic University, Minsk, Republic of Belarus*

[2] *Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus*

Received: 19.08.2022
Revised: 18.10.2022
Accepted: 08.11.2022

**Mariya L. Zenkova: mariya_LZ@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3098-981X*
Ludmila A. Melnikova: https://orcid.org/0000-0002-0015-1832
Valentina N. Timofeeva: https://orcid.org/0000-0003-0498-1320

© M.L. Zenkova, L.A. Melnikova, V.N. Timofeeva, 2023

Abstract.
Plant-based soft drinks are a relatively new product category. Germinated, or sprouted, buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) can be used as a raw material in functional beverages. It has a good potential for expanding the range of this category. The research objective was to study the effect of formulation on the production technology and nutritional value of non-alcoholic beverages from germinated buckwheat.

The study featured water-grain and water-fruit-grain mixes, as well as model samples of buckwheat drinks fortified with various fruit components, e.g., sea buckthorn, black currant, apple, etc. Standard research methods were supported by high performance liquid chromatography and atomic emission spectrometry.

Buckwheat was soaked in water at 20 ± 2°C for 46 h. This germination method resulted in a high level of microbial contamination. To ensure food safety, the water-grain suspension was brought up to 65°C for 3 min. The fruit components increased the viscosity of the dispersion medium, as well as the settling time of solid particles. The mix had to be homogenized in order to reduce the particle size and destroy the colloidal system after heating (98 ± 2°C, 1 min). The final product had a harmonious taste and contained sugars (6.72–8.04 g/100 cm^3), organic acids (338.91–446.93 mg/100 cm^3), minerals (0.07–0.08%), and amino acids (leucine, lysine, cystine, and tyrosine).

Buckwheat homogenization preserved the beneficial substances in the raw material. The samples fortified with sea buckthorn or blackcurrant puree had the best sensory profile and nutritional value.

Keywords. Buckwheat, grain, technology, sea buckthorn, currant, microbial flora, amino acids, mineral nutrients, sugars, acids

Funding. The research was supported by the Ministry of Education of the Republic of Belarus, agreement no. GZ 21-23/2022, 22.02.2022, as part of state assignment on the New scientific solutions for grain processing (Agricultural technology and Food Security, topic 9).

For citation: Zenkova ML, Melnikova LA, Timofeeva VN. Non-Alcoholic Beverages from Sprouted Buckwheat: Technology and Nutritional Value. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):316–325. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2435

Введение

На стремительный рост популярности продуктов растительного происхождения повлияли такие модные тенденции, как веганство и вегетарианство, забота о благополучии животных и окружающей среде, которые находят отражения в блогах о продуктах питания и социальных сетях. Потребители больше обращают внимание на растительную пищу, включающую зерновые продукты, бобовые, орехи, фрукты и овощи [1]. Кроме того, такие продукты часто относят к функциональным продуктам и суперфудам и могут употребляться в качестве перекусов «на ходу» (on the going) или на завтрак [2, 3].

Тема безалкогольных напитков на растительном сырье широко обсуждается в производственном и научном кругах как наиболее динамично развивающееся направление [4–6]. Все большее число потребителей выбирает безалкогольные напитки на растительном сырье по медицинским показаниям или в качестве продуктов для здорового образа

жизни [7]. Безалкогольные напитки на растительном сырье представляют собой водорастворимые экстракты из бобовых и масличных культур, злаков или орехов, которые по внешнему виду напоминают молоко животных. Поэтому многие потребители воспринимают их как заменители коровьего молока и используют в домашней кулинарии. Однако такие безалкогольные напитки имеют отличные от животного молока сенсорные характеристики, стабильность суспензии и пищевую ценность.

Безалкогольные напитки из бобовых, зерна и орехов производятся путем экстрагирования растворимых веществ растительного сырья водой и отделения жидкости. Гомогенизация и термическая обработка необходимы для улучшения консистенции и микробиологической стабильности напитков [8]. Содержание питательных веществ зависит от вида растительного сырья и рецептурных компонентов, которые вносятся в напиток с целью повышения его пищевой ценности. Однако многие из этих напитков имеют, с точки зрения потребителей, неприятный «бобовый» вкус и меловой привкус, вызванный нерастворимыми крупными частицами [9]. Поэтому для формирования хороших сенсорных характеристик таких напитков важную роль, наряду с сырьем, играют технологические процессы.

Для разработки безалкогольных напитков на растительном сырье выбрано зерно гречихи (*Fagopyrum esculentum* Moench.), которое широко используется в пищевой промышленности, не содержит глютен, в отличие от других зерновых культур, и по вкусу привычно для потребителей [10, 11]. Применяя процесс проращивания зерна и многоэтапную термическую обработку суспензии, а также комбинируя пророщенное зерно с фруктовыми компонентами, получили продукты с новыми сенсорными характеристиками.

Целью работы являлось изучение влияния компонентного состава на технологию производства и пищевую ценность безалкогольных напитков из пророщенной гречихи.

Объекты и методы исследования

В исследовании использовалась гречиха (*Fagopyrum esculentum* Moench.) для проращивания. Водно-зерновую смесь для приготовления безалкогольных напитков обрабатывали в условиях повышенных температур для снижения ее микробной обсемененности и изменения консистенции. Смесь из пророщенного зерна гречихи с водой в соотношении 1:8 готовили следующим образом: пророщенные зерна смешивали с водой в соотношении 1:1, затем измельчали, добавляли остальное количество воды и перемешивали. Водно-фруктово-зерновые смеси готовили путем добавления в водно-зерновую смесь фруктовых компонентов.

Модельные образцы безалкогольных напитков «Напиток гречневый с облепихой из пророщенного зерна» и «Напиток гречневый с черной смородиной из пророщенного зерна» представляли собой суспензию растворенного и измельченного растительного сырья в воде с добавлением сахара. Для улучшения сенсорных характеристик и пищевой ценности напитков добавляли фруктовые компоненты (пюре из облепихи или черной смородины, яблочный сок).

Исследования проводили в лаборатории кафедры товароведения и экспертизы товаров Белорусского государственного экономического университета и в Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по продовольствию».

Для исследования микробиологических показателей готовили десятикратные разведения водно-зерновой суспензии в пептонно-солевом растворе по ГОСТ 26669-85. Их вносили параллельно в две чашки Петри, содержащие мясо-пептонный агар (МПА), для определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) и инкубировали при 30 ± 1 °С в течение 72 ч в аэробных условиях по ГОСТ 10444.15-94. Также водно-зерновые суспензии добавляли в чашки Петри, содержащие среду Сабуро, для определения количества дрожжей и плесневых грибов и инкубировали при 25 ± 1 °С в течение пяти дней по ГОСТ 1044.12-2013. По результатам культивирования определяли численные значения КМАФАнМ по ГОСТ 26670-91, плесеней и дрожжей – по ГОСТ 1044.12-2013.

Высоту осадка определяли следующим образом: подготовленные образцы помещали в мерные цилиндры из стекла и отмечали их высоту (мм), относительно которой рассчитывали высоту образующегося осадка (%) каждые 20 мин в течение 3 ч.

Содержание сухих веществ определяли по ГОСТ 6687.2-90 рефрактометрическим методом, кислотность – по ГОСТ 6687.4-86, pH – по ГОСТ 26188-2016. Содержание общего азота устанавливали по ГОСТ 10846-91 на автоматической установке Turbotherm для разложения по методу Къельдаля с дистиллятором Vapodest; содержание белка в гречихе рассчитывали путем умножения величины содержания азота на коэффициент k = 5,53. Аминокислотный состав определяли по МВИ МН 1363-2000 на жидкостном хроматографе Agilent 1200 (США). Содержание углеводов и глицерина устанавливали по СТБ 1907-2008 и по МВИ МН 4475-2012 на жидкостном хроматографе Agilent 1200. Содержание органических кислот определяли по ГОСТ 33410-2015 на жидкостном хроматографе Agilent 1200. Минеральные вещества

определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой по МУК 4.1.1482-2003 на атомно-эмиссионном спектрометре Optima 2100 DV (США).

Результаты и их обсуждение

Общая схема производства безалкогольного гречневого напитка с фруктовым компонентом из пророщенного зерна включает замачивание и проращивание обрушенного зерна гречихи, мокрое измельчение пророщенного зерна, подогревание, добавление рецептурных компонентов, подогревание, гомогенизирование, ультрапастеризацию и асептическую упаковку. Процесс проращивания и пищевая ценность пророщенного зерна гречихи изучались нами ранее [12, 13]. Пророщенное зерно гречихи имело приятный сладковатый вкус и тонкое ореховое послевкусие. Зерно гречихи содержало разнообразную эпифитную микрофлору, наиболее характерными представителями которой являлись спороносные бактерии, дрожжи и споры плесневых грибов. Некоторые виды этих микроорганизмов, в том числе патогенных для человека, могут активно развиваться при проращивании. При производстве безалкогольных напитков с использованием пророщенного зерна гречихи особое место занимает технологическая операция замачивания зерна. Этот процесс характеризуется взаимодействием зерна с избыточным объемом воды, нарушением целостности семенной оболочки и проникновением воды внутрь зерна. Проращивание зерна гречихи при температуре 20 ± 2 °С приводило к повышению суммарного содержания в нем бактерий, дрожжей и плесневых грибов. Жизнеспособное количество бактерий и дрожжей достигало максимального числа в конце процесса проращивания [13]. Важной стадией процесса производства безалкогольных напитков из пророщенной гречихи является получение водно-зерновой смеси путем протирания, которая может дополнительно инфицироваться микроорганизмами извне (с оборудования, инвентаря, из воздуха) и приводить к снижению качества готового продукта. Количество добавляемой воды при изготовлении влияет на внешний вид и консистенцию безалкогольного напитка. Поэтому опытным путем было определено соотношение пророщенного зерна гречихи и воды как 1:8. Для изучения влияния температуры на количественный состав микрофлоры образцы водно-зерновой суспензии обрабатывали при температурах 55, 65 и 85 °С течение 3, 6 и 9 мин (табл. 1).

Из представленных результатов исследования видно, что в контрольном образце водно-зерновой суспензии не обнаружены плесневые грибы. Воздействие температуры 55 °С в течение 9 мин приводило к гибели вегетативных форм бактерий и клеток дрожжей; при температуре 65 °С они инактивировались в течение 3 мин. Таким образом, было рекомендовано после измельчения водно-зерновую смесь подогреть в течение 3 мин до температуры не менее 65 °С.

При изготовлении модельных образцов безалкогольных напитков установлено, что полидисперсность частиц в коллоидной системе приводила к ее дестабилизации. Это подтверждается исследованиями других ученых: большинство безалкогольных напитков из бобовых культур, зерна и орехов нестабильны при хранении, т. к. взвешенные частицы быстро оседают [3, 9, 14, 15]. На рисунке 1 представлена схема формирования опытных образцов

Таблица 1. Количественный состав микрофлоры водно-зерновой суспензии из пророщенной гречихи при разной температурной обработке

Table 1. Water-grain suspension from sprouted buckwheat: microbial count at different temperatures

Продолжительность обработки, мин	Состав микрофлоры, КОЕ/г	Водно-зерновая суспензия	Обработка водно-зерновой суспензии		
			55 °С	65 °С	85 °С
Без обработки (контроль)	КМАФАнМ	$1{,}7\times10^{6}$	–	–	–
	Плесени	н/о	–	–	–
	Дрожжи	$1{,}5\times10^{2}$	–	–	–
3	КМАФАнМ	–	$9{,}0\times10^{1}$	н/о	н/о
	Плесени	–	н/о	н/о	н/о
	Дрожжи,	–	н/о	н/о	н/о
6	КМАФАнМ	–	$2{,}0\times10^{1}$	н/о	н/о
	Плесени,	–	н/о	н/о	н/о
	Дрожжи	–	н/о	н/о	н/о
9	КМАФАнМ	–	н/о	н/о	–
	Плесени,	–	н/о	н/о	–
	Дрожжи	–	н/о	н/о	–

Примечание: н/о – не обнаружено.

Note: н/о – not detected.

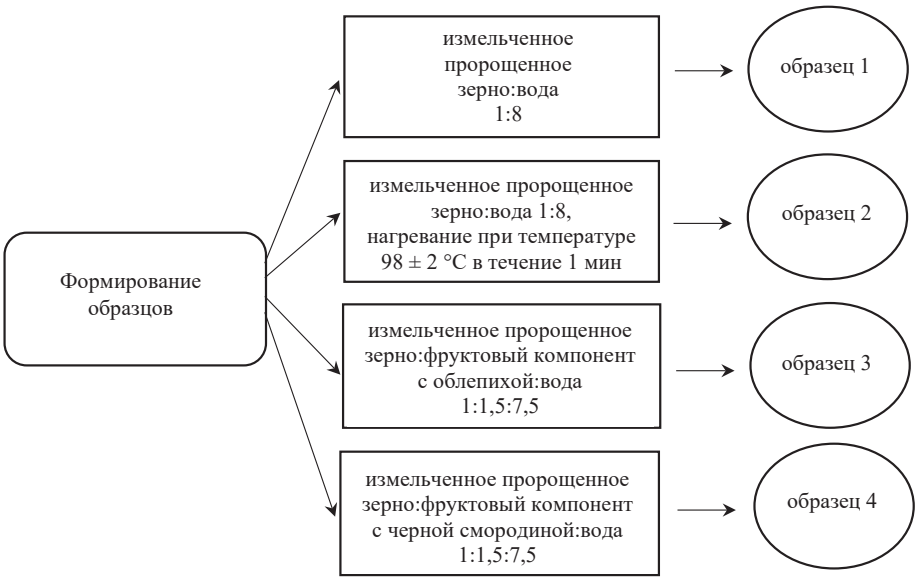


Рисунок 1. Схема формирования опытных образцов

Figure 1. Modeling scheme

для изучения влияния состава и термической обработки на изменение высоты осадка при хранении.

Исследовали процесс образования осадка при хранении образцов (рис. 2). Скорость осаждения взвешенных частиц зависит от вязкости дисперсионной среды и разности плотностей между частицами и дисперсной фазы. При нагревании водно-зерновой смеси происходила клейстеризация крахмала, и вязкость раствора повышалась. Консистенция продукта напоминала кисель и не расслаивалась при хранении (рис. 2, образец 2) по сравнению с водно-зерновой смесью без нагревания (рис. 2, образец 1). При внесении фруктовой части вязкость дисперсионной среды увеличивалась из-за содержания пектина, а скорость осаждения уменьшалась по сравнению с образцом 1 (рис. 2, образцы 3 и 4). Это приводило к более медленному расслоению смеси, а готовый напиток становился привлекательным для потребителя.

Добавление фруктового компонента повышало коллоидную стабильность полуфабриката и улучшало его сенсорные характеристики. Однако более плотные частицы смеси оседали и образовывали осадок. У смеси с черной смородиной высота осадка после хранения в течение 3 ч была больше (62,1 %) по сравнению со смесью с облепихой (55,8 %). Для изменения киселеобразной консистенции и повышения стабильности безалкогольных напитков смеси нагревали при температуре 98 ± 2 °С в течение 1 мин и подвергали гомогенизации. Для безалкогольных напитков на растительном сырье применяются современные технологии для уменьшения

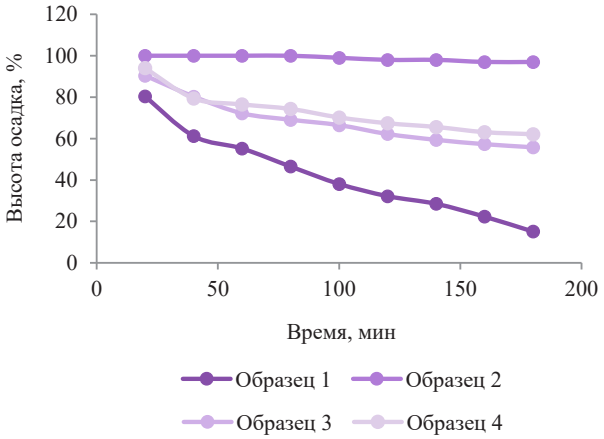


Рисунок 2. Изменение высоты осадка при хранении образцов

Figure 2. Changes in sediment during storage

размера частиц и снижения вязкости, такие как ультразвук, импульсное электрическое поле, ультразвуковое облучение высокой интенсивности, омический нагрев и гомогенизация при сверхвысоком и высоком давлении [8]. Влияние таких способов обработки на коллоидную систему может быть рассмотрено в дальнейших исследованиях.

В качестве фруктового компонента использовались протертые ягоды облепихи или черной смородины, которые содержат пищевые волокна, витамины и минеральные вещества. Публикации в научных журналах свидетельствуют о присутствии в черной смородине полифенольных сое-

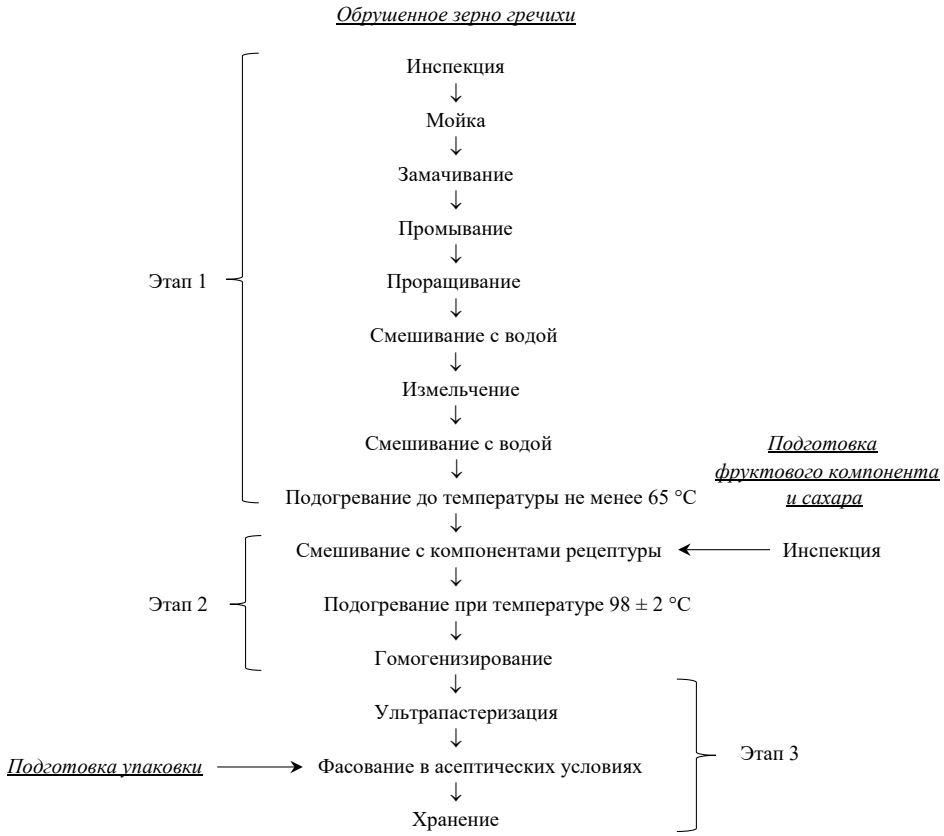


Рисунок 3. Общая схема производства безалкогольного гречневого напитка с фруктовым компонентом

Figure 3. Production scheme: soft buckwheat drink fortified with a fruit component

динений, таких как антоцианы, а в пюре из облепихи – β-каротина, который является провитамином А [16–19]. Также в качестве фруктового компонента могут использоваться порошки из ягод.

Рецептуры модельных образцов безалкогольных напитков включали пророщенное зерно гречихи, пюре из облепихи или черной смородины, яблочный сок и сахар. Сахар использовали для улучшения сенсорных характеристик. Сахара присутствуют во фруктовых ингредиентах, а их содержание в зерне гречихи увеличивается при проращивании [12]. Поэтому количество добавляемого сахара в напитки составляло не более 3 %. Как видно из рисунка 3, технология гречневого напитка с фруктовым компонентом состоит из нескольких этапов.

На первом этапе обрушенное зерно гречихи помещали в ванну со сливным отверстием высотой слоя не более 20 см и промывали холодной водой в течение 0,5–1 мин, затем замачивали в воде с температурой 20 ± 2 °С в соотношении зерно:вода 1:1,2 до влажности зерна 39–42 % в течение 3–4 ч. По достижении требуемой влажности воду сливали, зерно промывали водой и оставляли для контакта с воздухом при температуре 20 ± 2 °С для проращивания на 34–40 ч, орошая зерна водой и перемешивая каждые 4 ч. При появлении у зерна корешков 5–7 мм их промывали водой и готовили водно-зерновую смесь в соотношении пророщенное зерно:вода 1:8. Для этого пророщенное зерно смешивали с водой в соотношении 1:1, а затем измельчали на протирочной машине (мокрое измельчение) с диаметром отверстий сит 0,8–1,2 мм до однородной массы. Измельченное пророщенное зерно гречихи смешивали с остальным количеством воды и нагревали до температуры не менее 65 °С. На втором этапе водно-зерновую смесь смешивали с подготовленными фруктовыми компонентами и сахаром до однородной массы. Полученную сложную гетерогенную систему нагревали при температуре 98 ± 2 °С в течение 1 мин, не давая смеси сильно вспениваться, и передавали на гомогенизацию для разрушения образовавшейся коллоидной системы. На третьем этапе из накопительной емкости продукт подавали в установку для ультрапастеризации и фасования в упаковку Тетра Пак объемом не более 1 л. Полученный гречневый напиток с фруктовым компонентом представляет собой непрозрачную суспензию, имеющую приятный освежающий вкус и фруктовый аромат.

Модельные образцы гречневых напитков с фруктовыми компонентами были изготовлены без использования стабилизаторов, эмульгаторов, консервантов и других пищевых добавок и хранились в течение 12 месяцев при температуре 20 ± 2 °С. Физико-химические показатели модельных образцов безалкогольных напитков и содержание нутриентов в напитках после хранения представлены в таблицах 2–6.

На содержание сухих веществ в безалкогольных напитках на основе пророщенной гречихи влияло внесение фруктовых компонентов и содержание сахаров и крахмала в пророщенном зерне [12]. Содержание органических кислот обусловлено внесением фруктовых компонентов с высоким содержанием органических кислот, таких как пюре из облепихи и черной смородины, яблочный сок.

Модельные образцы безалкогольных напитков имели низкое содержание белка, что подтверждается исследованием напитков из других зерновых культур [20]. Однако в растительных тканях может содержаться небелковый азот, который находится в форме свободных аминокислот или других соединений [21]. При исследовании безалкогольных напитков на основе пророщенной гречихи идентифицированы цистин, тирозин лейцин и лизин (табл. 3).

Вкус и пищевая ценность безалкогольных напитков на основе пророщенного зерна гречихи зависят от содержания в них углеводов. В облепихе содержится трехатомный спирт глицерин, придающий сладкий вкус ягодам [19]. Сахара в модельных образцах безалкогольных напитков были представлены глюкозой, фруктозой и сахарозой, в напитке с добавлением облепихи обнаружен глицерин (табл. 4). Суммарное содержание моно- и дисахаридов в безалкогольных напитках составило

Таблица 2. Физико-химические показатели модельных образцов безалкогольных напитков

Table 2. Physical and chemical parameters of model samples

Наименование показателя	Напиток гречневый с облепихой	Напиток гречневый с черной смородиной
Массовая доля сухих веществ, %	11,2	10,8
Кислотность, см^3 раствора гидроокиси натрия концентрацией 1 моль/дм^3, израсходованного на титрование 100 см^3 напитка	2,9	2,4
pH	3,8	4,5

Таблица 3. Содержание белка и аминокислот в модельных образцах безалкогольных напитков

Table 3. Proteins and amino acids in model samples

Наименование показателя	Напиток гречневый с облепихой	Напиток гречневый с черной смородиной
Содержание белка, %	0,40	0,50
Аминокислотный состав, мг на 100 см^3		
Заменимые аминокислоты		
Цистин	0,08	0,12
Тирозин	0,24	0,26
Незаменимые аминокислоты		
Лейцин	0,32	0,38
Лизин	0,12	0,12

Таблица 4. Содержание глицерина и сахаров в модельных образцах безалкогольных напитков, г на 100 см^3

Table 4. Glycerin and sugars in model samples, g per 100 cm^3

Наименование показателя	Напиток гречневый с облепихой	Напиток гречневый с черной смородиной
Глицерин	0,14 ± 0,01	н/о
Фруктоза	1,78 ± 0,01	1,22 ± 0,01
Глюкоза	2,41 ± 0,06	1,05 ± 0,02
Сахароза	3,85 ± 0,08	4,45 ± 0,02
Мальтоза	н/о	н/о

Примечание: н/о – не обнаружено.

Note: н/о – not detected.

Таблица 5. Содержание органических кислот в модельных образцах безалкогольных напитков, мг на 100 см^3

Table 5. Organic acids in model samples, mg per 100 cm^3

Наименование органической кислоты	Напиток гречневый с облепихой	Напиток гречневый с черной смородиной
Щавелевая	7,25 ± 0,08	4,33 ± 0,08
Винная	117,72 ± 1,69	5,39 ± 0,02
Яблочная	290,97 ± 5,16	88,55 ± 0,07
Молочная	14,00 ± 0,32	н/о
Уксусная	6,88 ± 0,04	н/о
Лимонная	10,11 ± 0,04	240,64 ± 0,43
Янтарная	н/о	н/о

Примечание: н/о – не обнаружено.

Note: н/о – not detected.

Таблица 6. Минеральный состав модельных образцов безалкогольных напитков, мг на 100 см^3

Table 6. Mineral composition of model samples, mg per 100 cm^3

Наименование показателя	Напиток гречневый с облепихой	Напиток гречневый с черной смородиной	Суточная потребность (18–59 лет)*
Зольность, %	0,07	0,08	–
Кальций	2,80	4,10	1000
Фосфор	8,60	12,00	800
Магний	4,40	6,90	400
Калий	42,00	41,00	2500
Натрий	4,10	3,70	–
Железо	0,10	0,10	10 мужчины 18 женщины
Цинк	0,20	0,20	12
Медь	0,23	0,22	1
Марганец	0,04	0,06	2
Селен	< 0,1	< 0,1	–

*Требования к питанию населения: нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь. Санитарные нормы и правила: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 20.11.2012, № 180.

*Diet requirements: energy and nutrient standards for various population groups in the Republic of Belarus. Sanitary Standards and Rules: Decree No. 180 of the Ministry of Health of the Republic of Belarus, November 20, 2012.

6,72–8,04 г/100 см^3. Преобладающим сахаром являлась сахароза, т. к. напитки содержали добавленный сахар.

В результате исследования установлено, что органические кислоты в гречневом напитке с облепихой были представлены яблочной кислотой, а в напитке с черной смородиной – лимонной (табл. 5). Общее содержание органических кислот находилось на уровне 338,91–446,93 мг/100 см^3. Органические кислоты вносятся с фруктовыми компонентами и придают напиткам освежающий вкус.

Общее содержание минеральных веществ в безалкогольных напитках можно выразить показателем зольности, который составлял от 0,07 до 0,08 %. Содержание минеральных веществ в безалкогольных напитках было невысокое, чтобы удовлетворять потребности человека. В результате исследования установлено, что в 100 см^3 гречневого напитка с добавлением фруктовых компонентов от суточной потребности содержались: калий 1,64–1,68 %, кальций 0,3–0,4 %, фосфор 1,1–1,5 %, магний 1,1–1,7 %, железо 1 % для мужчин и 0,6 % для женщин, медь 22–23 %, марганец 2–3 % и цинк 1,7 % (табл. 6).

Выводы

Для безалкогольных напитков из пророщенной гречихи получили водно-зерновую смесь путем протирания пророщенной гречихи, смешивания с водой в соотношении 1:8 и обработки в течение 3 мин при температуре не менее 65 °С для инактивации микроорганизмов. Исследовано влияние рецептурного состава напитков и термической обработки на образование осадка при хранении образцов. Установлено, что при внесении фруктовой части скорость осаждения уменьшалась и расслоение

смеси проходило медленнее. Для изменения консистенции и повышения стабильности безалкогольных напитков при хранении смесь нагревали при температуре 98 ± 2 °С в течение 1 мин и гомогенизировали. Добавление фруктовых компонентов придавало безалкогольным напиткам приятный освежающий вкус и фруктовый аромат. В готовых напитках содержались аминокислоты (цистин, тирозин, лейцин и лизин), сахароза (3,85–4,45 г/100 см^3), глюкоза (1,05–2,41 г/100 см^3) и фруктоза (1,22–1,78 г/100 см^3), в напитке с облепихой присутствовал глицерин (0,14 г/100 см^3). Наибольшую часть от общего количества органических кислот в гречневом напитке с облепихой составляла яблочная кислота (290,97 мг/100 см^3), а в напитке с черной смородиной – лимонная (240,64 мг/100 см^3). В 100 см^3 напитка содержалось 41,0–42,0 мг калия, 2,8–4,1 мг кальция, 8,6–12,0 мг фосфора, 4,4–6,9 мг магния, 0,1 мг железа, 0,22–0,23 мг меди, 0,04–0,06 мг марганца и 0,20 мг цинка. В дальнейших исследованиях необходимо рассмотреть способы обработки водно-зерновой смеси с целью уменьшения размера частиц.

Критерии авторства

М. Л. Зенькова – аналитический обзор источников информации, разработка концепции эксперимента, изготовление модельных образцов, проведение экспериментальных исследований, описание и анализ полученных результатов, корректировка рукописи. Л. А. Мельникова – организация эксперимента, описание методов, проведение экспериментальных исследований, анализ полученных результатов, корректировка рукописи. В. Н. Тимофеева – организация эксперимента, описание методов, проведение экспериментальных исследований, анализ полученных результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

M.L. Zenkova wrote the review, developed the research concept, produced the model samples, performed the experimental research, analyzed the results, and proofread the manuscript. L.A. Melnikova supervised the experiment, described the methods, conducted the experimental studies, interpreted the results, and proofread the manuscript. V.N. Timofeeva organized the experiment, described the methods, performed the experimental research, and analyzed the results.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Jeske S, Zannini E, Arendt EK. Evaluation of physicochemical and glycaemic properties of commercial plant-based milk substitutes. Plant Foods for Human Nutrition. 2016;72:26–33. https://doi.org/10.1007/s11130-016-0583-0

2. Shiomi N, Waisundara VY. Superfood and functional food – The development of superfoods and their roles as medicine. IntechOpen; 2017. 256 p. https://doi.org/10.5772/65088

3. Musaeva NM, Isrigova TA, Salmanov MM, Aligazieva NM, Islamova FI, Tomaev EV. Functional foods with wheatgrass. Development Problems of Regional Agro-Industrial Complex. 2020;41(1):205–209. (In Russ.). [Функциональные продукты питания с применением пророщенного зерна пшеницы / Н. М. Мусаева [и др.] // Проблемы развития АПК региона. 2020. Т. 41. № 1. С. 205–209.]. https://www.elibrary.ru/TWRTBT

4. Silant′ev M. Should plant-based drinks be made from flour or complex mixes? Milk Processing. 2020;252(10):68–71. (In Russ.). [Силантьев М. Напитки на растительной основе производить из муки или комплексных смесей? // Переработка молока. 2020. Т. 252. № 10. С. 68–71.]. https://www.elibrary.ru/KHWPDK

5. Rybalova TI. It is – not milk. Dairy Industry. 2018;(4):34–37. (In Russ.). [Рыбалова Т. И. Это вам – ne moloko… // Молочная промышленность. 2018. № 4. С. 34–37.]. https://www.elibrary.ru/YWIFXA

6. Berezutsky AA. Plant-based drinks – A new challenge for the dairy industry. Dairy Industry. 2021;(10):49–51. (In Russ.). [Березуцкий А. А. Напитки на растительной основе – новый вызов молочной отрасли // Молочная промышленность. 2021. № 10. С. 49–51.]. https://www.elibrary.ru/WPNNBY

7. Vojdani A, Turnpaugh C, Vojdani E. Immune reactivity against a variety of mammalian milks and plant-based milk substitutes. Journal of Dairy Research. 2018;85(3):358–365. https://doi.org/10.1017/s0022029918000523

8. Aydar EF, Tutuncu S, Ozcelik B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. Journal of Functional Foods. 2020;70. https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103975

9. Merenkova SP, Androsova NV. Topical aspects of producing beverages based on plant raw material. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2018;6(3):57–67. (In Russ.). https://doi.org/10.14529/food180307

10. Tanashkina TV, Piankova AF, Semenyuta AA, Kantemirov AV, Prikhodko YuV. Buckwheat grass tea beverages: Row materials, production methods, and biological activity. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):564–573. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-564-573

11. Tanashkina TV, Peregoedova AA, Semenyuta AA, Boyarova MD. Gluten-free buckwheat kvass with aromatic raw materials. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):70–78. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-70-78

12. Zenkova M. Bioactivated buckwheat in terms of its nutritional value. Food Science and Technology. 2021;15(2):4–10.

13. Zenkova ML, Melnikova LA. Microbiological assessment of wheat and buckwheat sprouting process. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(4):795–804. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-795-804

14. Ade-Omowaye BIO, Olaniyan SA, Adeyemi IA, Isola OO. Development and quality evaluation of non-alcoholic beverages from maize based products. Nutrition and Food Science. 2006;36(3):183–190. https://doi.org/10.1108/00346650610664922

15. Alabina NM, Davydova AYu, Tsareva MA. Influence of thermal treatment on dispersion stability of vegetable milk. Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff. 2020;60(1):3–6. (In Russ.). [Алабина Н. М., Давыдова А. Ю., Царева М. А. Влияние термической обработки на дисперсионную стабильность растительного «молока» // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2020. Т. 60. № 1. С. 3–6.]. https://www.elibrary.ru/VQHCDL

16. Samankova NV, Timofeeva VN, Nazarova YuS. Assortment and technology for new types of frozen black and red currants fruit sauces. Bulletin of the Mogilev State Food University. 2020;28(1):3–11. (In Russ.). [Саманкова Н. В., Тимофеева В. Н., Назарова Ю. С. Ассортимент и технология новых видов замороженных фруктовых соусов на основе черной и красной смородины // Вестник могилевского государственного университета продовольствия. 2020. Т. 28. № 1. С. 3–11.]. https://www.elibrary.ru/ONAHJB

17. Tabatorovich AN, Tabala EB. Berry semi-finished products chemical compositionand quality indicators analysis for confectionery production. Bulletin of KSAU. 2021;174(9):161–169. (In Russ.). https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-9-161-169

18. Zenkova M, Pinchykova Yu. Chemical composition of Sea-buckthorn and Highbush Blueberry fruits grown in the Republic of Belarus. Food Science and Applied Biotechnology. 2019;2(2):121–129. https://doi.org/10.30721/fsab2019.v2.i2.59

19. Yakovleva TP, Filimonova EYu. Food and biological value of fruits of sea-buckthorn berries. Food Industry. 2011;(2):11–13. (In Russ.). [Яковлева Т. П., Филимонова Е. Ю. Пищевая и биологическая ценность плодов облепихи // Пищевая промышленность. 2011. № 2. С. 11–13.]. https://www.elibrary.ru/NDXZDR

20. Fructuoso I, Romão B, Han H, Raposo A, Ariza-Montes A, Araya-Castillo L, *et al.* An overview on nutritional aspects of plant-based beverages used as substitutes for cow's milk. Nutrients. 2021;13(8). https://doi.org/10.3390/nu13082650

21. Damodaran Sh, Parkin KL, Fennema OR. Chemistry of food products. St. Petersburg: Professiya; 2012. 1039 p. (In Russ.). [Дамодаран Ш., Паркин К. Л., Феннема О. Р. Химия пищевых продуктов. СПб: Профессия, 2012. 1039 с.].

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2437
https://elibrary.ru/YTZEFG

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Методология оптимизации режимов дистилляции на основе критериев оценки качества продукта

Л. Н. Крикунова, Е. В. Дубинина*, Д. А. Свиридов, С. М. Томгорова

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, Москва, Россия[2]

Поступила в редакцию: 10.10.2022
Принята после рецензирования: 15.11.2022
Принята к публикации: 06.12.2022

**Е. В. Дубинина: elena-vd@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-8364-9539*
Л. Н. Крикунова: https://orcid.org/0000-0002-7335-0453
Д. А. Свиридов: https://orcid.org/0000-0001-8367-3523
С. М. Томгорова: https://orcid.org/0000-0002-6913-9006

© Л. Н. Крикунова, Е. В. Дубинина, Д. А. Свиридов, С. М. Томгорова, 2023

Аннотация.
Для расширения ассортимента алкогольных напитков на основе дистиллятов перспективным является использование новых видов сырья, в том числе хлебопекарных отходов. Объективных методов оптимизации рабочих параметров дистилляции с учетом особенностей биохимического состава исходного сырья не существует. Целью исследования являлась разработка методологии оптимизации режимных параметров дистилляции при использовании новых видов сырья.
Объектами исследования являлись дистилляты, полученные из промышленных образцов отходов хлебопекарного производства. Переменные факторы на стадии дистилляции: скорость дистилляции от 5 до 17 см^3/мин, степень подкисления сусла pH 6,0–2,0. Состав и массовую концентрацию летучих компонентов определяли методом газовой хроматографии. Органолептическая оценка была проведена группой экспертов.
По результатам однофакторных экспериментов было показано, что скорость дистилляции и степень подкисления сброженного сусла влияют на изменение концентрации отдельных летучих компонентов в дистилляте. Расчет коэффициентов парной корреляции позволил выделить наиболее значимые параметры: массовую концентрацию 1-пропанола и фенилэтилового спирта и этиллактата, сумму энантовых эфиров, отношение суммы энантовых эфиров к сумме сложных эфиров, отношение концентрации этиллактата и суммы энантовых эфиров, соотношение концентраций изобутанола и 1-пропанола. Среди выбранных показателей рассчитали коэффициенты линейной парной корреляции. На основе анализа расчетных данных была построена регрессионная модель влияния отдельных параметров на дегустационную оценку. Методом определения экстремумов функции двух переменных установили оптимальные рабочие параметры процесса дистилляции: pH 4,4 ± 0,2, скорость 9,5 ± 1,0 см^3/мин.
Разработанная методика предусматривает следующую последовательность операций: установление значимости предлагаемого переменного фактора, выбор параметров оценки на основе результатов однофакторных экспериментов, определение взаимодействия и разработка регрессионной модели процесса. Этот метод может быть использован для расчета оптимальных технологических параметров дистилляции при переработке других видов сырья.

Ключевые слова. Алкогольные напитки, дистилляты, режимы дистилляции, скорость дистилляции, степень подкисления, оценка качества дистиллята

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № 0585-2019-001 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН.

Для цитирования: Методология оптимизации режимов дистилляции на основе критериев оценки качества продукта / Л. Н. Крикунова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 326–334. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2437

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2437
https://elibrary.ru/YTZEFG

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Assessment-Based Optimization of Distillation Parameters

Ludmila N. Krikunova, Elena V. Dubinina*, Dmitry A. Sviridov, Svetlana M. Tomgorova

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

Received: 10.10.2022
Revised: 15.11.2022
Accepted: 06.12.2022

**Elena V. Dubinina: elena-vd@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-8364-9539*
Ludmila N. Krikunova: https://orcid.org/0000-0002-7335-0453
Dmitry A. Sviridov: https://orcid.org/0000-0001-8367-3523
Svetlana M. Tomgorova: https://orcid.org/0000-0002-6913-9006

© L.N. Krikunova, E.V. Dubinina, D.A. Sviridov, S.M. Tomgorova, 2023

Abstract.
The range of high-quality alcoholic beverages could be expanded by unconventional raw materials, e.g., bakery waste. Any new technology requires optimization of operating parameters at each production stage. The sensory properties of an alcoholic drink depend on the distillation mode. However, food science knows no objective methods for optimizing distillation parameters based on the biochemical composition of the raw material. The research objective was to develop a new methodology for optimizing the distillation procedure for alcoholic drinks based on unconventional raw materials.
The research featured distillates obtained from industrial samples of bakery waste. The variable factors included the distillation rate, which ranged from 5 to 17 cm^3/min, and the wort acidification degree, which was pH 6.0–2.0. The composition and mass concentration of the main volatile components were determined by gas chromatography using a Thermo Trace GC Ultra device (Thermo, USA) with a flame ionization detector. The sensory evaluation was performed by a panel of qualified experts. The single-factor experiment showed that the distillation rate and the wort acidification degree affected the concentration of each volatile component in the distillate.
Using the method of pairwise correlation coefficients, the authors identified the most significant parameters: mass concentration of 1-propanol, phenylethyl alcohol, ethyl lactate, total enanthic esters, total enanthic esters vs. total esters, concentration of ethyl lactate vs. total enanthic esters, isobutanol concentration vs.1-propanol concentration. The linear pair correlation coefficients were calculated for these selected indicators, and the effect of each parameter on the sensory profile was represented as a regression model. The optimal operating parameters were determined by extremization of a two-variable function: pH 4.4 ± 0.2, speed 9.5 ± 1.0 cm^3/min.
The new methodology provided for the following sequence of operations: determining the significance of the variable factor; selecting the evaluation parameters based on a single-factor experiment; determining the interaction; developing a regression model. This method can be used to calculate the optimal technological distillation parameters for other raw materials.

Keywords. Alcoholic beverages, distillates, distillation modes, distillation rate, degree of acidification, assessing distillate quality

Funding. The article was published as part of state assignment No. 0585-2019-001 to the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

For citation: 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

Введение

Анализ тенденций развития потребительского спроса в отношении алкогольной продукции показывает его ориентацию в сторону увеличения доли высококачественных спиртных напитков на основе дистиллятов. При разработке высокоэффективной технологии требуется оптимизация режимных параметров на каждом этапе. Этап дистилляции определяет органолептические свойства спиртного напитка. Дистилляция с точки зрения процесса представляет собой совокупность сложных физико-химических реакций, проходящих под действием высоких температур. Цель дистилляции заключается в разделении и концентрировании летучих веществ, содержащихся в перегоняемой среде. Одновременно при дистилляции проходят процессы

образования новых летучих компонентов. Эффективность процесса дистилляции оценивают по выходу конечного продукта и его качественным характеристикам.

На процесс дистилляции оказывают влияние ряд факторов. В первую очередь к ним относят систему дистилляционного оборудования. Для получения дистиллятов из различных видов сельскохозяйственного сырья (фруктового, зернового и других видов, в том числе нетрадиционных) используют установки периодического действия, отличающиеся конструктивными особенностями. Различают установки двукратной сгонки (простые кубовые) и однократной сгонки (установки с укрепляющей колонной). Существуют модификации простых кубовых установок, состоящие в различных формах дефлегматоров (шлемов). Основные отличия в конструкциях установок однократной сгонки заключаются в виде и количестве тарелок в укрепляющей колонне. Установки могут также отличаться конструкцией дефлегматоров, которые расположены над укрепляющей колонной [1–4].

Влияние на процесс дистилляции и конечный результат оказывают режимные параметры дистилляции – ее скорость, наличие и продолжительность предварительного нагрева перегоняемой среды перед дистилляцией и объем отбираемых головной и хвостовой фракций. Рядом авторов установлено, что выбор оптимальной скорости дистилляции должен проводиться с учетом исходных физико-химических характеристик сброженного сырья [5, 6]. Многолетний производственный опыт и результаты научных исследований показали, что длительность нагрева сброженного сырья в кубе влияет на качественные характеристики дистиллята [7–9].

Под действием высокой температуры разрушаются оболочки дрожжевых клеток, в результате чего высвобождаются высшие жирные кислоты, образующие с этанолом компоненты энантового эфира. Объем отбираемой головной фракции влияет на концентрацию в дистилляте легколетучих компонентов (ацетальдегида, этилацетата и других сложных низкокипящих эфиров). Количество отбираемой головной фракции зависит от физико-химического состава продукта, поступающего на дистилляцию. Момент начала отбора хвостовой фракции определяют на основе сенсорного восприятия аромата. Обычно хвостовая фракция используется при последующей дистилляции с целью обогащения дистиллята высококипящими ароматобразующими компонентами [10–12].

Кроме того, направленность и интенсивность физико-химических процессов, проходящих при дистилляции, зависят от активной кислотности сырья (pH). Обычно при использовании низкокислотного сырья перед стадией дистилляции для регулирования величины pH в сброженное сусло вносят определенный объем раствора кислоты. Данный технологический прием позволяет не только предотвратить контаминацию среды посторонней микрофлорой, но и снизить интенсивность действия окислительных ферментов. Кроме того, при более низкой величине pH интенсифицируется синтез ценных ароматобразующих компонентов [13–15]. Степень подкисления сусла и его эффективность определяются исходным биохимическим составом сырья.

В мировой экономике существует проблема использования отходов хлебопекарного производства [16, 17]. Отходы хлебопекарного производства, в том числе своевременно нереализованная продукция, в Российской Федерации составляют около 10 %, а в отдельные периоды могут достигать 20 % от общего объема производства хлеба [18, 19]. По данным СМИ, доля непроданного хлеба в Великобритании доходит почти до 30 % [20]. Неиспользованные отходы хлебопекарного производства ухудшают экологическую ситуацию. В Российской Федерации эти отходы относятся к 5 классу опасности для окружающей среды [21, 22].

Нами ранее был изучен биохимический состав отходов хлебопекарного производства и выявлены особенности в сравнении с традиционным сырьем, используемым в технологии зерновых и солодовых дистиллятов [23, 24]. На основании полученных данных разработаны оптимальные режимы получения и сбраживания сусла [25].

Цель исследования состояла в разработке методологии оптимизации режимных параметров дистилляции при использовании нетрадиционных видов сырья.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали дистилляты, полученные из промышленных образцов отходов хлебопекарного производства (пшеничная хлебная крошка) с предприятий Москвы и Московской области. Образцы характеризовались массовой концентрацией влаги в переделах 4,7–6,4 %, крахмала – 61,2–66,3 %, белка – 11,1–12,7 % и золы – 1,90–2,27 %. Для получения осахаренного сусла образцы хлебной крошки смешивали с питьевой водой в соотношении 1:3,5. Общая продолжительность получения осахаренного сусла – 3–3,5 ч. Водно-тепловая обработка замеса включала внесение ферментного препарата, содержащего термостабильную α-амилазу (Termamyl, Novozymes) в дозировке 0,5–1,0 ед. АС/г условного крахмала сырья, и комплексного препарата гемицеллюлазного действия, содержащего активные ксиланазу и целлюлазу (Целлюлаза кл. 14, Микробиопром) в дозировке 0,1–0,2 ед. ЦС/г сырья. Выдержку замеса проводили при 50–55 °С 30 мин, при 70–75 °С 60 мин, при 95–98 °С 60–90 мин. Подготовленную массу охлаждали до 56–58 °С и вносили фермент осахаривающего

действия (San Super 360 L, Novozymes) в дозировке 6,0–8,0 ед. ГлС/г условного крахмала сырья и фермент протеолитического действия (АЛКАЛАЗА 2,4L FG, ООО «Симбио») в дозировке 0,01–0,02 ед. ПС/г белка сырья. Осахаривание проводили в течение 30 мин. Осахаренное сусло сбраживали с использованием дрожжей Fermiol (Oenobrands), вносимых в количестве 100 мг/100 г сусла. Брожение проводили при температуре 28–30 °С в течение трех суток.

Дистилляцию сброженного сусла проводили на установке прямой сгонки Kothe Destillationstechnik (Германия). Температура греющих паров составляла от 102 °С в начале дистилляции до 105 °С в конце. Давление греющих паров в процессе дистилляции поддерживали на уровне не более 1,2 мПа. Отбор головной фракции составлял 0,2 % от объема сброженного сусла, загруженного в куб установки. Начало отбора хвостовой фракции осуществляли при достижении дистиллятом крепости 40 %об.

В качестве варьируемых факторов на стадии дистилляции использовали скорость дистилляции (V) от 5 до 17 см^3/мин и степень подкисления сусла в пределах pH 6,0–2,0 (величину активной кислотности изменяли путем добавления 2 М раствора серной кислоты). Было получено 75 опытных образцов дистиллятов из отходов хлебного производства.

Определение качественного состава и массовой концентрации основных летучих компонентов в дистиллятах проводили методом газовой хроматографии на приборе Thermo Trace GC Ultra (Thermo, США) с пламенно-ионизационным детектором. С целью проведения сравнительного анализа исследованных образцов концентрацию выражали в мг/дм^3 безводного спирта (мг/дм^3 б.с.).

Органолептический анализ опытных образцов дистиллятов проводила группа квалифицированных экспертов. Оценку дистиллятов осуществляли по 10-балльной системе [26].

Обработку экспериментальных данных проводили методами математической статистики. Уравнения регрессий, а также проверка качества получившихся моделей были сделаны с помощью программного обеспечения Microsoft Excel (версия 2018 г.). Значения коэффициентов уравнений регрессии были найдены с помощью метода наименьших квадратов. Значимость коэффициентов регрессии проверяли, используя критерий Стьюдента, для проверки качества модели использовали критерий Фишера.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследования провели однофакторные эксперименты с двумя группами способов получения дистиллятов. Первая группа включала получение дистиллята из образцов сброженного сусла с естественным значением pH 6,0 ± 0,2 при варьировании скорости дистилляции (V) в пределах от 5 до 17 см^3/мин. Вторая группа предусматривала получение образцов дистиллятов из сброженного сусла с различной степенью подкисления при одинаковой скорости 11 ± 1 см^3/мин.

Установлено, что при одинаковом объеме головной фракции изменение скорости дистилляции не оказывало значительного влияния на концентрацию карбонильных соединений и легколетучих эфиров в отличие от величины pH (табл. 1). При снижении скорости дистилляции отмечалось повышение концентрации основных высших спиртов на 15–20 %, эфиров высших жирных кислот – в среднем на 80 %. Это согласуется с данными, полученными при дистилляции сусла из других видов сырья [1]. Концентрация ценного ароматообразующего компонента – фенилэтилового спирта – с увеличением продолжительности процесса дистилляции повышалась в 1,5–2,0 раза. Отмеченное повышение концентрации отдельных летучих компонентов обусловлено увеличением длительности протекания физико-химических процессов под действием высокой температуры.

Установлено, что при дистилляции образцов сброженного сусла из хлебной крошки при снижении pH в полученном дистилляте повышается концентрация карбонильных соединений и легколетучих эфиров (табл. 2). В образцах дистиллятов, полученных при естественном значении pH среды (pH 6,0 ± 0,2), концентрация ацетальдегида была ниже в 2,5–3,5 раза, чем в образцах с максимальным уровнем подкисления (pH 2,0 ± 0,2). Концентрация этилацетата в дистиллятах из сброженного сусла с максимальной кислотностью была выше в 4,0–5,0 раз по сравнению с исходными образцами. Это может быть связано с особенностями исходного сырья по сравнению с традиционными видами (зерно и солод). В составе азотсодержащего комплекса отходов хлебопекарного производства важную часть составляет денатурированный белок, который не полностью используется дрожжами при сбраживании. При увеличении степени подкисления сброженного сусла может усиливаться кислотный гидролиз белковых остатков с образованием низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот. Повышенная концентрация низкомолекулярных азотистых компонентов является причиной увеличения содержания карбонильных соединений и эфиров.

Установлено, что повышение активной кислотности сброженного сусла из отходов хлебопекарного производства интенсифицирует процесс этерификации высших жирных кислот, входящих в состав дрожжевой клетки. Это приводит к повышению концентрации высококипящих эфиров.

В дистиллятах из данного вида сырья, как и в других, основными являются высшие спирты. Концентрация высших спиртов в дистиллятах из подкисленного сусла снижалась обратно пропорционально значению pH.

Таблица 1. Влияние скорости дистилляции на концентрацию летучих компонентов и дегустационную оценку дистиллята

Table 1. Effect of distillation rate on the concentration of volatile components and the senspry profile of distillates

Наименование показателя	Скорость дистилляции (V), $см^3$/мин					*R*
	$V_1 = 17 \pm 1$	$V_2 = 14 \pm 1$	$V_3 = 11 \pm 1$	$V_4 = 8 \pm 1$	$V_5 = 5 \pm 1$	
	Массовая концентрация, мг/$дм^3$ б.с.					
Ацетальдегид	58–80	65–86	50–81	47–90	40–52	–0,4799
Изобутеральдегид	6–8	6–9	5–10	8–11	7–9	0,3693
Ацетон	2–4	2–4	1–4	3–5	2–4	0,0178
Этилацетат	61–100	65–105	69–107	65–115	70–115	0,3792
Метанол	6–8	5–7	5–7	5–8	5–6	–0,3329
Диацетил	3–5	5–7	4–6	4–7	5–7	0,3824
2-пропанол	10–21	8–12	9–15	12–14	7–10	–0,2513
1-пропанол	192–433	310–382	250–420	398–466	478–512	0,7789
Изобутанол	1068–1330	992–1503	1155–1563	1051–1470	1042–1503	0,2510
Изоамилацетат	20–33	25–34	20–31	15–40	10–22	–0,4996
1-бутанол	5–10	4–9	5–8	8–10	6–9	0,2283
Изоамилол	1707–2515	1821–2713	2097–3001	2115–3020	2140–3025	0,5991
Этилкапроат	18–24	22–30	28–42	33–47	38–52	0,7686
Этиллактат	19–20	18–21	18–22	18–21	17–20	–0,2459
Гексанол	6–9	5–8	5–10	6–8	6–8	–0,0600
Этилкаприлат	29–40	35–48	33–40	33–45	34–46	0,3712
Этилкапрат	12–20	19–31	35–42	41–48	42–50	0,8965
Фенилэтиловый спирт	22–27	24–32	26–36	26–40	39–47	0,7775
Сумма летучих компонентов	**3286–4625**	**3459–4981**	**3871–5393**	**3994–5332**	**4013–5436**	**0,5881**
Альдегиды и кетоны	71–95	83–104	69–97	62–108	59–68	–0,4344
Высшие спирты	2991–4309	3143–4621	3529–5006	3659–4917	3683–5052	0,5799
Эфиры	180–213	194–244	214–275	242–270	226–283	0,7666
Сумма энантовых эфиров	66–74	84–94	103–122	119–128	121–136	0,9207
Соотношения концентраций отдельных летучих компонентов						
Сумма энантовых эфиров/Сумма сложных эфиров	0,32–0,37	0,37–0,43	0,40–0,49	0,44–0,49	0,47–0,54	0,7593
Этиллактат/Сумма энантовых эфиров	0,26–0,30	0,20–0,23	0,17–0,19	0,15–0,16	0,13–0,15	–0,8897
Высшие спирты/Сумма летучих компонентов	0,91–0,93	0,91–0,93	0,91–0,93	0,92–0,93	0,92–0,93	0,3309
Изобутанол/1-пропанол	3,07–5,56	3,20–3,93	3,18–4,62	2,27–3,69	2,18–2,99	–0,6461
Дегустационная оценка						
Оценка, баллы	6,7–6,9	6,8–7,0	7,3–7,5	7,7–8,0	7,8–8,1	

Таким образом, результаты однофакторных экспериментов показали, что скорость дистилляции (y_1) и степень подкисления сброженного сусла из нового вида сырья (y_2) являются значимыми факторами. Они могут быть использованы для повышения эффективности фракционированной дистилляции.

Любая оптимизация, кроме варьируемых факторов, требует выбора параметров для оценки эффективности процесса. В данной работе выбор параметров проводили с учетом результатов корреляционного анализа взаимосвязи дегустационной оценки дистиллятов и массовой концентрации отдельных летучих компонентов и определенных соотношений. Соотношения концентраций отдельных летучих компонентов или их групп выбирали на основании их значимости в сложении вкусо-ароматических характеристик дистиллятов. Расчет коэффициентов парной корреляции показал, что наиболее значимыми параметрами могут считаться массовая концентрация 1-пропанола (x_1), фенилэтилового спирта (x_2) и этиллактата (x_3), сумма энантовых эфиров (x_4), отношение суммы энантовых эфиров к сумме сложных эфиров (x_5), соотношение концентрации этиллактата и суммы энантовых эфиров (x_6) и соотношение концентрации изобутанола и 1-пропанола (x_7). Параметры x_1, x_2, x_4 и x_5 характеризовались высокими положительными значениями коэффициентов парной корреляции, а параметры x_3, x_6 и x_7 имели значимые отрицательные значения *R*.

Получены высокие значения коэффициентов парной корреляции между дегустационной оценкой и концентрацией этилкапроата (0,7686) и этилкапрата (0,8965) при изменении скорости дистилляции. Однако максимальная величина *R* была отмечена для суммы этих эфиров (0,9207).

Таблица 2. Влияние значения pH на концентрацию летучих компонентов и дегустационную оценку дистиллята

Table 2. Effect of pH value on the concentration of volatile components and sensory profile of distillates

Наименование показателя	Значение pH					*R*
	6,0 ± 0,2	5,0 ± 0,2	4,0 ± 0,2	3,0 ± 0,2	2,0 ± 0,2	
	Массовая концентрация, мг/дм^3 б.с.					
Ацетальдегид	50–81	57–86	98–130	138–172	187–205	–0,4159
Изобутеральдегид	5–10	7–10	8–15	12–20	12–22	–0,2237
Ацетон	1–4	2–5	1–5	3–8	3–9	–0,1286
Этилацетат	69–107	78–125	101–145	189–230	398–452	–0,5508
Метанол	5–7	3–5	4–6	5–7	3–7	0,2488
Диацетил	4–6	3–8	4–7	5–8	5–9	–0,1878
2-прпанол	9–15	8–12	7–10	9–11	12–14	–0,2579
1-пропанол	250–420	242–400	211–366	195–355	185–352	0,2505
Изобутанол	1155–1563	1130–1506	1075–1465	1085–1402	950–1175	0,3928
Изоамилацетат	20–31	27–38	30–41	36–48	45–53	–0,2827
1-бутанол	5–8	3–5	1–6	1–3	1–2	0,0408
Изоамилол	2097–3001	2046–2960	1980–2230	1746–2065	1520–1945	0,2938
Этилкапроат	28–42	36–51	40–53	49–57	53–59	0,2203
Этиллактат	18–22	27–40	30–50	35–62	70–98	–0,6177
Гексанол	5–10	5–8	1–5	2–3	1–2	0,0674
Этилкаприлат	33–40	36–43	38–42	42–45	38–43	0,3312
Этилкапрат	35–42	37–42	40–44	39–43	40–45	0,2259
Фенилэтиловый спирт	26–33	32–41	35–40	30–35	15–20	0,8418
Сумма летучих компонентов	**3871–5393**	**3838–5331**	**3744–4386**	**3800–4385**	**3594–4154**	**0,1949**
Альдегиды и кетоны	69–97	81–102	113–153	173–195	217–232	–0,4108
Высшие спирты	3529–5006	3443–4882	3284–3854	3149–3714	2669–3225	0,3446
Эфиры	214–275	259–323	304–360	421–456	675–711	–0,6158
Сумма энантовых эфиров	103–122	116–133	119–139	134–141	134–143	0,4218
Соотношения концентраций отдельных летучих компонентов						
Сумма энантовых эфиров/Сумма сложных эфиров	0,40–0,49	0,38–0,45	0,36–0,40	0,31–0,32	0,19–0,21	0,4941
Этиллактат/Сумма энантовых эфиров	0,17–0,19	0,23–0,33	0,25–0,41	0,26–0,46	0,51–0,73	–0,6371
Высшие спирты/Сумма летучих компонентов	0,91–0,93	0,90–0,92	0,88–0,89	0,83–0,85	0,74–0,77	0,5761
Изобутанол/1-пропанол	3,18–4,62	3,28–4,67	3,03–5,09	3,14–6,10	3,07–5,14	–0,0350
Дегустационная оценка						
Оценка, баллы	7,3–7,5	7,5–7,6	7,8–8,0	7,7–7,9	6,7–7,0	

Таблица 3. Парные коэффициенты линейной парной корреляции

Table 3. Pair coefficients of linear pair correlation

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	y
x_1	1,00							
x_2	0,70	1,00						
x_3	–0,65	–0,58	1,00					
x_4	0,48	0,47	0,05	1,00				
x_5	0,55	0,60	–0,71	0,19	1,00			
x_6	–0,73	–0,64	0,92	–0,05	–0,70	1,00		
x_7	–0,76	–0,60	0,54	–0,51	–0,46	0,63	1,00	
y	0,69	0,83	–0,58	0,53	0,63	–0,64	–0,53	1,00

С целью определения оптимальных режимных параметров процесса дистилляции сброженного сусла из отходов хлебопекарного производства была проведена оценка межфакторного влияния по величине выбранных параметров и дегустационной оценки. Рассчитали коэффициенты линейной парной корреляции, позволившие выявить зависимость между параметрами x_1–x_7 (табл. 3).

Установлена высокая корреляция между концентрацией этиллактата (x_3) и величиной соотношения этиллактат/сумма энантовых эфиров (x_6), что позволило исключить последний из дальнейших расчетов.

Анализ коэффициентов линейной парной корреляции показал, что в условиях эксперимента выявлена высокая корреляционная взаимосвязь между параметрами x_3 и x_6 (0,92). Изменчивость x_6 объясняется только концентрацией этиллактата, а концентрация суммы энантовых эфиров изменяется незначительно (является условно постоянной величиной). Поэтому при построении регрессионной модели параметр x_6 был исключен.

Построена множественная регрессионная модель влияния показателей на дегустационную оценку (О):

$$O = 5{,}372 + 0{,}003x_1 + 0{,}022x_2 + 0{,}005x_3 + 0{,}008x_4 + 0{,}577x_5 + 0{,}084x_7 \quad (1)$$

Значения коэффициентов уравнений регрессии (β) параметров x_1–x_7 были найдены с помощью метода наименьших квадратов. Значимость коэффициентов регрессии проверяли, используя критерий Стьюдента. В результате установлено, что для коэффициентов $\beta 1$ и $\beta 5$ значения p-value составили 0,470761 и 0,161128 соответственно, что больше доверительного значения 0,05. Следовательно, параметры x_1 и x_5 не оказывают значимого влияния на величину дегустационной оценки (О). Из дальнейших расчетов эти параметры были исключены.

На следующем этапе выявлена взаимосвязь параметров x_2, x_3, x_4, x_6 и x_7 от варьируемых факторов (y_1 и y_2). Для каждого параметра построена оценочная модель, выраженная уравнением регрессии.

$$x_2 = 30{,}28 - 0{,}813y_1 + 2{,}853y_2 \quad (2)$$
$$x_3 = 122{,}59 - 0{,}953y_1 - 16{,}3y_2 \quad (3)$$
$$x_4 = 168{,}06 - 3{,}57y_1 - 3{,}02y_2 \quad (4)$$
$$x_6 = 0{,}706 - 0{,}0008y_1 - 0{,}0866y_2 \quad (5)$$
$$x_7 = 3{,}89 + 0{,}139y_1 - 0{,}377y_2 \quad (6)$$

Для проверки качества модели использовали критерий Фишера и метрику качества модели как коэффициент детерминации R^2.

Графическая интерпретация оценочных моделей зависимости массовой концентрации фенилэтилового спирта (x_2) и этиллактата (x_3), суммы энантовых эфиров (x_4) и соотношений этиллактат/сумма энантовых эфиров (x_6), изобутанол/1-пропанол (x_7) от изменения скорости дистилляции (y_1) и pH (y_2) представлена на рисунке 1.

Разработана регрессионная модель, позволяющая выявить межфакторное взаимодействие и определить оптимальные режимные параметры ди-

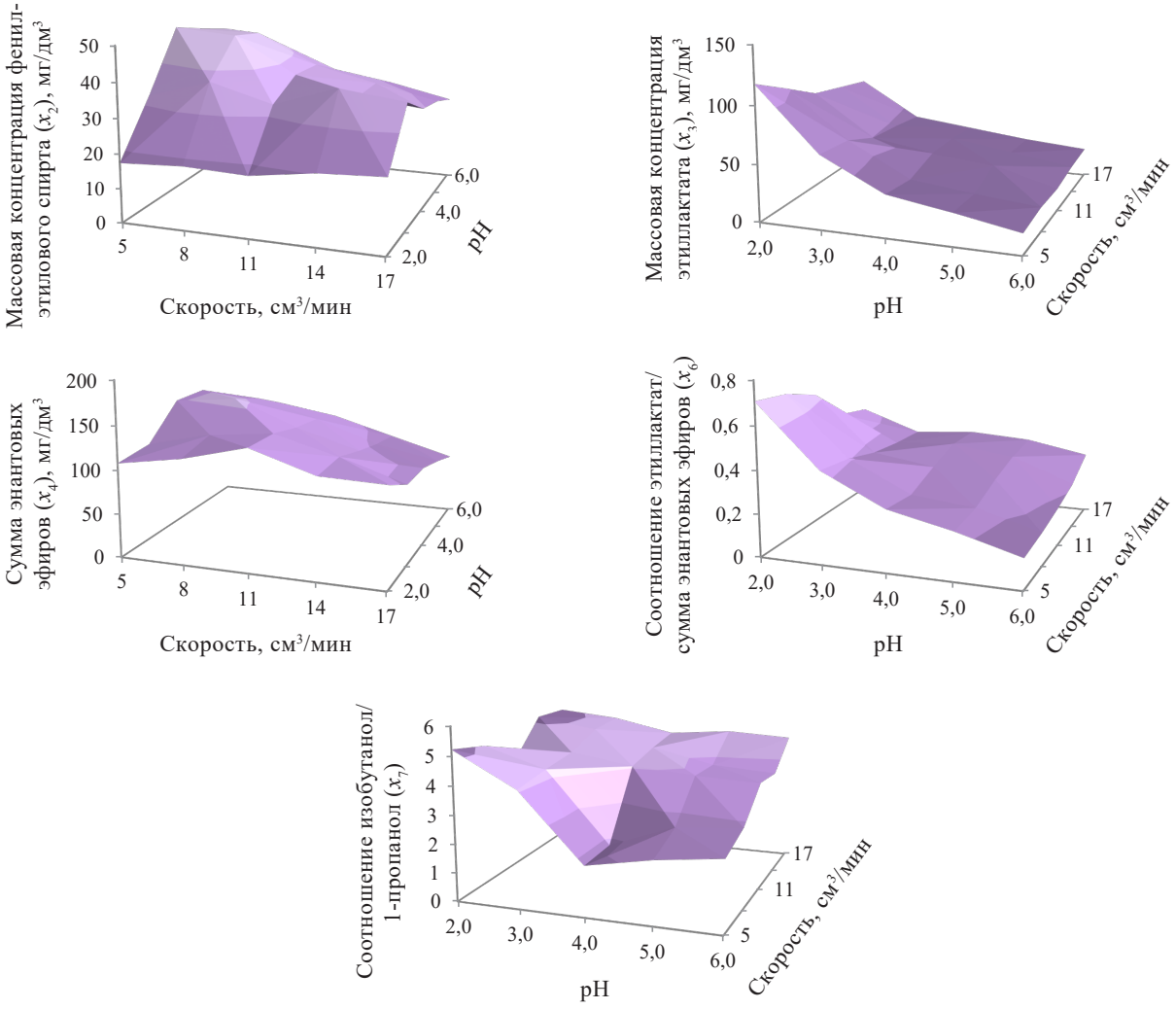


Рисунок 1. Диаграммы поверхностей изменения параметров x_2, x_3, x_4, x_6 и x_7

Figure 1. Surfaces of changing parameters x_2, x_3, x_4, x_6, and x_7

стилляции сусла из отходов хлебопекарного производства, обеспечивающие получение дистиллята с высокими органолептическими характеристиками. Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = 2{,}777 + 0{,}178y_1 + 2{,}041y_2 - 0{,}002y_1^2 - 0{,}040(y_1 \times y_2) - 0{,}187\,y_2^2 \quad (7)$$

Анализ разработанного уравнения (7) показал, что в заданных интервалах варьирования y_1 в пределах от 5 ± 1 до 17 ± 1 см^3/мин и y_2 в пределах от 6,0 ± 0,2 до 2,0 ± 0,2 оптимальными значениями являются скорость 9,5 ± 1,0 см^3/мин и величина pH 4,5 ± 0,2.

Выводы

На основании анализа изменения концентрации летучих компонентов в дистиллятах из отходов хлебопекарного производства показано, что скорость дистилляции и степень подкисления сброженного сусла являются значимыми факторами. Определили параметры для оценки влияния выбранных факторов на дегустационную характеристику дистиллятов. Методами математической статистики определили параметры – концентрация фенилэтилового спирта и этиллактата, сумма энантовых эфиров, соотношения этиллактат/сумма энантовых эфиров и изобутанол/1-пропанол как наиболее значимые. Значения этих параметров позволяют с высокой степенью точности оценить влияние скорости дистилляции и величины pH на дегустационную оценку дистиллятов. Методом определения экстремумов функции двух переменных установили оптимальные режимные параметры процесса дистилляции: скорость 9,5 ± 1,0 см^3/мин, величина pH 4,5 ± 0,2.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликты интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов 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 declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Piggott JR, Conner JM. Whiskies. In: Lea AGH, Piggott JR, editors. Fermented beverage production. New York: Springer; 2003. pp. 239–262. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0187-9_11

2. Heller D, Eimfalt D. Reproducibility of fruit spirit distillation processes. Beverages. 2022;8(2). https://doi.org/10.3390/beverages8020020

3. Darıcı M, Bergama D, Cabaroglu T. Effect of triple pot still distillation on the volatile compositions during the Rakı production. Journal of Food Processing and Preservation. 2019;43(6). https://doi.org/10.1111/jfpp.13864

4. Korzenszky P, Barátossy G, Székely L, Géczi G. A case study comparing distillation technologies for plum palinka production. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2020;14:1191–1199. https://doi.org/10.5219/1472

5. Spaho N. Distillation techniques in the fruit spirits production. In: Mendes M, editor. Distillation – Innovative applications and modeling. IntechOpen; 2017. https://doi.org/10.5772/66774

6. Szambelan K, Nowak J, Szwengiel A, Jeleń H. Comparison of sorghum and maize raw distillates: Factors affecting ethanol efficiency and volatile by-product profile. Journal of Cereal Science. 2020;91. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102863

7. Heller D, Roj S, Switulla J, Kolling R, Einfalt D. Tackling foam-based process disruptions in spirit distillation by thermal energy input adaptations. Food and Bioprocess Technology. 2022;15(3):821–832. https://doi.org/10.1007/s11947-022-02785-5

8. Douady A, Puentes C, Awad P, Esteban-Decloux M. Batch distillation of spirits: experimental study and simulation of the behaviour of volatile aroma compounds. Journal of the Institute of Brewing. 2019;125(2):268–283. https://doi.org/10.1002/jib.560

9. Krikunova LN, Meleshkina EP, Vitol IS, Dubinina EV, Obodeeva ON. Grain bran hydrolysates in the production of fruit distillates. Foods and Raw Materials. 2023;11(1):35–42. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-550

10. Xiang X-F, Lan Y-B, Gao X-T, Xie H, An Z-Y, Lv Z-H, *et al.* Characterization of odor-active compounds in the head, heart, and tail fractions of freshly distilled spirit from Spine grape (Vitis davidii Foex*)* wine by gas chromatography-olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry. Food Research International. 2020;137. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109388

11. Tian T-T, Ruan S-L, Zhao Y-P, Li J-M, Yang C, Cao H. Multi-objective evaluation of freshly distilled brandy: Characterisation and distribution patterns of key odour-active compounds. Food Chemistry: X. 2022;14. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100276

12. Esteban-Decloux M, Dechatre J-C, Legendre P, Guichard H. Double batch cider distillation: Influence of the recycling of the separated fractions. LWT. 2021;146. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111420

13. Oganesyants LA, Panasyuk AL, Reytbalt BB. Theory and practice of fruit winemaking. Moscow: Razvitie; 2012. 393 p. (In Russ.). [Оганесянц Л. А., Панасюк А. Л., Рейтблат Б. Б. Теория и практика плодового виноделия. М.: Развитие, 2012. 393 с.].

14. García-Llobodanin L, Senn T, Ferrando M, Güell C, López F. Influence of the fermentation pH on the final quality of *Blanquilla* pear spirits. International Journal of Food Science and Technology. 2010;45(4):839–848. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02206.x

15. Oganesyants LA, Peschanskaja VA, Obodeeva ON. Influence of acidification on content of volatile components in fermented wort of Jerusalem artichoke. Beer and Beverages. 2018;(1):36–38. (In Russ.). [Оганесянц Л. А., Песчанская В. А., Ободеева О. Н. Влияние подкисления на содержание летучи компонентов в сброженном сусле из топинамбура // Пиво и напитки. 2018. № 1. 36–38.]. https://elibrary.ru/YREZQT

16. Panfilov VA. Synergetic approach to agro-industrial technologies of the future. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):642–649. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-642-649

17. Kurakin MS, Ozherel'eva AV, Motyreva OG, Krapiva TV. A new approach to the development of food products. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):434–448. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-434-448

18. The hard bread [Internet]. [cited 2022 Sep 15]. Available from: https://plus.rbc.ru/news/5b0309107a8aa9185dd2e978

19. Didikov AE. Order and features of the organization of industrial environmental monitoring at the enterprises of the baking industry. Scientific Journal of NIU ITMO. Series Economics and Environmental Management. 2020;(1):95–102. (In Russ.). https://doi.org/10.17586/2310-1172-2020-13-1-95-102

20. Making a crust: Tesco to use unsold bread in new products. [Internet]. [cited 2022 Sep 15]. Available from: https://www.theguardian.com/environment/2019/jul/06/making-a-crust-tesco-to-use-unsold-bread-in-new-products

21. Martirosyan VV, Volokhova LT, Stepanyuk VD, Volokhova MN. Analysis of the actual state of bakery production wastes and definition of criteria for classifying waste as a hazard class for the environment. Baking in Russia. 2018;(2):10–14. (In Russ.). [Анализ фактического состояния отходов хлебопекарного производства и определение критериев отнесения отходов классу опасности для окружающей среды / В. В. Мартиросян [и др.] // Хлебопечение России. 2018. № 2. С. 10–14.]. https://elibrary.ru/XYJYXR

22. Volokhova LT, Stepanyuk VD, Volokhova MN. Development of a technique of production environmental control of the address with waste at the baking and macaroni enterprises. Bread Products. 2018;(7):50–53. (In Russ.). [Волохова Л. Т., Степанова В. Д., Волохова М. Н. Разработка методики производственного экологического контроля обращения с отходами на хлебопекарных и макаронных предприятиях // Хлебопродукты. 2018. № 7. С. 51–53.]. https://elibrary.ru/XSVXJJ

23. Krikunova LN, Peschanskaya VA, Zakharov MA. Mineral composition of returnable waste bakery products. Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff. 2018;49(2):25–29. (In Russ.). [Крикунова Л. Н., Песчанская В. А., Захаров М. А. Минеральный состав возвратных отходов хлебопекарного производства // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2018. Т. 49. № 2. С. 25–29.]. https://elibrary.ru/XPUKVN

24. Krikunova LN, Dubinina EV. Study of protein complex of return waste of the bread-baking production. Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff. 2018;53(6):63–66. (In Russ.). [Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В. Исследование белкового комплекса возвратных отходов хлебопекарного производства // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2018. Т. 53. № 6. С. 63–66.]. https://elibrary.ru/YOGISD

25. Krikunova LN, Peschanskaya VA, Zakharov MA. Researching the process of obtaining the wort from returnable waste of bread production. Beer and Beverages. 2018;(3):20–23. (In Russ.). [Крикунова Л. Н., Песчанская В. А., Захаров М. А. Исследование процесса получения сусла из возвратных отходов хлебопекарного производства // Пиво и напитки. 2018. № 3. С. 20–23.]. https://elibrary.ru/YKWCXR

26. Brochet F, Dobourdieu D. Wine descriptive language supports cognitive specificity of chemical senses. Brain and Language. 2001;77(2):187–196. https://doi.org/10.1006/brln.2000.2428

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2438
https://elibrary.ru/VCQEQM

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Исследование процесса выпаривания для получения концентратов из растительного сырья

Н. Е. Куликова*, А. Г. Чернобровина, Н. Н. Роева, О. Ю. Попова

Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 14.06.2022
Принята после рецензирования: 26.10.2022
Принята к публикации: 08.11.2022

**Н. Е. Куликова: nataliyakulikova67@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2397-8696*
А. Г. Чернобровина: https://orcid.org/0000-0001-7233-3603
Н. Н. Роева: https://orcid.org/0000-0002-1321-8354
О. Ю. Попова: https://orcid.org/0000-0002-8147-0893

© Н. Е. Куликова, А. Г. Чернобровина, Н. Н. Роева, О. Ю. Попова, 2023

Аннотация.
Выпаривание в специальных вакуум-выпарных аппаратах в условиях пониженного давления является эффективным способом получения сухих концентратов. Однако существуют факторы, влияющие на эффективность и скорость упаривания. Цель исследования заключалась в изучении влияния технологических факторов на процесс упаривания в ротационном испарителе, а также в подборе оптимального режима и его применении для получения концентратов и экстрактов из растительного сырья.
Экспериментальные исследования выполнили на лабораторном ротационном испарителе BUCHI Rotavapor (BUCHI, Швейцария). Упариванию подвергали водно-спиртовой экстракт ягод черники лесной и ферментативный гидролизат зернового сорго, полученный путем биотехнологической обработки амилолитическими ферментными препаратами. В работе применяли стандартные методы исследований.
В результате проведенных исследований выявили основные закономерности и определили оптимальные значения эффективного режима упаривания с использованием ротационного испарителя: объем испарительной колбы – 1 л, толщина стенок колбы – 1,8 мм, угол наклона – 25°, скорость вращения – 280 об/мин, температура нагревательной бани – 50–60 °С, температура пара в испарителе – 30–40 °С (для его конденсации температура хладагента в конденсаторе составила 10–20 °С). Получили концентрат ягод черники лесной насыщенного сине-фиолетового цвета с содержанием сухих веществ 70–72 % и повышенным содержанием полифенольных соединений (в 1,86 раз) и антоцианов (1,4 раза) по сравнению с исходным водно-спиртовой экстрактом. Из ферментативного гидролизата зернового сорго получили сгущенный сахарный сироп с содержание сухих веществ 78–80 % и редуцирующих сахаров в пересчете на глюкозный эквивалент 91–92 %.
Подобраны оптимальные режимы упаривания экстрактов и ферментативных гидролизатов из растительного сырья с использованием ротационного испарителя. Получили растительные концентраты с высоким содержанием сухих веществ и сохранением органолептических характеристик исходного продукта.

Ключевые слова. Ротационный испаритель, упаривание, ферментативный гидролизат, водно-спиртовой экстракт, концентрат, растительное сырье

Для цитирования: Исследование процесса выпаривания для получения концентратов из растительного сырья / Н. Е. Куликова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 335–346. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2438

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2438
https://elibrary.ru/VCQEQM

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Evaporation as a Method for Obtaining Plant Concentrates

Nataliya E. Kulikova*, Antonina G. Chernobrovina, Natalia N. Roeva, Olga Yu. Popova

Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

Received: 14.06.2022
Revised: 26.10.2022
Accepted: 08.11.2022

Nataliya E. Kulikova: nataliyakulikova67@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2397-8696
Antonina G. Chernobrovina: https://orcid.org/0000-0001-7233-3603
Natalia N. Roeva: https://orcid.org/0000-0002-1321-8354
Olga Yu. Popova: https://orcid.org/0000-0002-8147-0893

© N.E. Kulikova, A.G. Chernobrovina, N.N. Roeva, O.Yu. Popova, 2023

Abstract.
Low-pressure vacuum evaporation is an effective way to obtain dry concentrates. However, some factors may affect its efficiency and speed. This article introduces the effect of technological factors on the evaporation process in a rotary evaporator. The research objective was to select the optimal mode to obtain concentrates and extracts from plant materials.
The experimental studies involved standard research methods and a BUCHI Rotavapor laboratory rotary evaporator (BUCHI, Switzerland). The research featured a water-alcohol extract of wild blueberries and an enzymatic hydrolysate of grain sorghum (durra), obtained by biotechnological treatment with amylolytic enzyme preparations.
The optimal evaporation mode included the following values: the volume of the evaporation flask was 1 L; the wall thickness of the flask was 1.8 mm; the angle of inclination was 25°; the rotation speed was 280 rpm; the temperature heating bath was 50–60°C; the steam temperature in the evaporator was 30–40°C. For condensation, the temperature of the refrigerant in the condenser was 10–20°C. The experiment yielded a concentrate of blue-violet blueberries with 70–72% solids. The content of polyphenolic compounds was 1.86 times as high as in the original water-alcohol extract while that of anthocyanins was 1.4 times as high. The enzymatic hydrolysate of grain sorghum yielded a condensed sugar syrup with 78–80% solids and 91–92% reducing sugars in terms of glucose equivalent.
The research provided optimal modes of evaporation for extracts and enzymatic hydrolysates from plant raw materials in a rotary evaporator. The plant concentrates had a high content of solids and maintained the sensory properties of the raw material.

Keywords. Rotary evaporator, evaporation, enzymatic hydrolysate, extract, concentrate, vegetable raw materials

For citation: Kulikova NE, Chernobrovina AG, Roeva NN, Popova OYu. Evaporation as a Method for Obtaining Plant Concentrates. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):335–346. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2438

Введение

Пищевая промышленность является частью агропромышленного комплекса, которая ориентирована на производство различных видов продуктов питания в требуемых объемах и необходимом ассортименте, качество и безопасность которых связаны с сохранением исходного сырья и готовой продукции [1–3]. Вопрос долговременного сохранения продуктов питания в пригодном для употребления виде всегда волновал человечество и до сих пор остается актуальным. Для сохранения продуктов или выделения отдельных компонентов часто прибегают к процессу концентрирования – удалению части влаги с повышением концентрации сухих веществ. Концентрация замедляет нежелательные биохимические и микробиологические процессы, тем самым увеличивая срок хранения, и уменьшает объем жидкости, что снижает затраты на транспортировку и хранение [2–4]. Основными способами удаления влаги являются выпаривание, мембранные методы разделения и криоконцентрирование. Преимущественно используемым способом получения сухих концентратов является способ выпаривания, осуществляемый в специальных вакуум-выпарных аппаратах в условиях пониженного давления. Температура концентрируемого вещества составляет примерно 50–80 °С, что позволяет ограничить нежелательные изменения в продукте [5, 6].

При выделении многих биологически активных веществ в качестве экстрагента используют ацетон, спирты и другие органические растворители, которые необходимо удалять после их действия из

получаемого продукта. Поэтому выпаривание остается актуальным способом в данном процессе производства. Например, извлечение красителей природного происхождения (хлорофилла) не обходится без экстракции органическим растворителем [7]. Производить концентрированный виноградный сок или виноградный мед, исключая термоокислительную трансформацию полифенолов, обеспечивающих их сохранность, а также других биологически активных компонентов, повышающих устойчивость организма к действию ионизирующих излучений, необходимо проводить на установках с низким температурным режимом, которое возможно создать за счет понижения давления [8, 9]. Таким образом, концентрирование является одним из основных процессов при производстве пищевых продуктов, особенно при получении сгущенных плодовых и овощных соков, томатной пасты, варенья, повидла и т. п. [10–12].

Наряду с концентрированием одним из перспективных способов обеспечения населения продуктами питания является производство консервированной продукции, получаемой путем выпаривания. Консервирование плодово-ягодного сырья включает стадию экстрагирования водно-спиртовым растворителем с последующей деалкоголизацией и удалением лишней влаги. Однако этот процесс связан с необходимостью повышения температуры, что может ухудшить пищевую ценность продукта. Поэтому для проведения этих операций необходимо подобрать оптимальный температурно-временной режим. Наиболее рациональным и экономически выгодным способом деалколизации и концентрирования жидких пищевых смесей остается выпаривание под вакуумом. Получаемые продукты практически не меняют свои органолептические характеристики и содержат большое количество полезных веществ, сохраняя неизменный состав длительное время [13–15].

Для достижения данных целей в аналитических лабораториях наиболее часто используется ротационный испаритель. Благодаря новейшим технологиям современные ротационные испарители просты в эксплуатации, позволяют максимально автоматизировать процессы и проводить упаривание без наблюдения оператора. Несмотря на это, существуют факторы, влияющие на эффективность и скорость упаривания [11, 12, 16, 17].

Целью настоящего исследования являлось изучение влияния таких факторов, как толщина слоя стенок и размер испарительной колбы, скорость вращения и угол наклона колбы, а также разница температур бани, паров и охлаждения на процесс упаривания и применение полученных оптимальных режимов ротационного испарителя для получения концентратов и экстрактов из растительного сырья.

Объекты и методы исследования

Экспериментальные исследования выполнены на лабораторном ротационном испарителе BUCHI Rotavapor (BUCHI, Швейцария), функционирующим по принципу перегонки вакуумного типа. Процедура выпаривания осуществлялась в специальных колбах, изготовленных из термостойких закаленных материалов, вращающихся под действием электромотора.

Объекты исследования – водно-спиртовой экстракт ягод черники лесной и ферментативный гидролизат зернового сорго, полученный путем биотехнологической обработки амилолитическими ферментными препаратами амилосубтилин Г10Х и глюкаваморин Г20Х («Сиббиофарм», Россия).

Для получения экстракта ягоды черники лесной измельчали, заливали 38–40 % водно-спиртовой раствор в соотношении 1:1 (одна часть мезги к одной части водно-спиртового раствора) и настаивали при периодическом перемешивании, контролируя содержание сухих веществ с помощью рефрактора РЛ-2. Для увеличения выхода сока и предотвращения помутнения, вызванного наличием солей органического характера как сложной коллоидной системы, в измельченную ягодную массу добавляли ферментный препарат пектолитического действия Фруктоцим БЕ в концентрациях, рекомендованных фирмой-производителем (0,01 % к массе сырья). Вели обработку при оптимальной температуре 45 % в течение 2-х ч [18]. После стабилизации сухих веществ в экстракте (2 суток) первый настой отфильтровывали, а второй заливали водой из расчета 1 л на 1 кг первоначальной массы ягод и оставляли еще на сутки. Первый экстракт имел концентрацию сухих веществ 9,6 %, концентрацию спирта $С_{сп}$ = 30,1 %об., второй – 3,5 % и 5,16 %об. соответственно. Содержание спирта определяли пикнометрическим методом [18]. Второй экстракт поступал в пресс, где осуществляется фильтрование и отжим шрота, и смешивался с первым экстрактом (концентрация сухих веществ 8,4 %) [15, 19].

Вторым объектом исследования был выбран ферментативный гидролизат крахмала зернового сорго. Технология его получения была ранее разработана Н. Е. Куликовой с соавторами и включает следующие стадии: клейстеризацию и разжижение 33 % крахмальной суспензии под действием термостабильного ферментного препарата амилосубтилин Г10Х при температуре 80 °С, pH 6,3–6,5 и дозировке 1,0 ед. АС/г субстрата при двухступенчатом внесении препарата (70 и 30 %) в течение 3,5 ч [20]. Содержание редуцирующих сахаров в пересчете на глюкозный эквивалент составляет 25–26 %. Дальнейшее осахаривание проводили в присутствии глюкаваморин Г20Х при температуре 55–56 °С, pH 4,7–5,0 и дозировке 2,5 ед. ГлА/г субстрата в течение 48 ч. Содержание редуцирующих сахаров в пересчете на

глюкозный эквивалент составило 91–92 %. Затем полученный гидролизат нагревали до 85–90 °С для инактивации фермента и стерилизации.

Суммарное содержание фенольных соединений определяли методом Фолина-Чокальтеу, антоциановые пигменты – методом дифференциальной спектроскопии, витамин С – йодометрическим методом обратного титрования, редуцирующие сахара – ускоренным йодометрическим методом, основанным на определении количества окисленной меди до и после восстановления щелочного раствора меди сахаром [15, 18]. Определяли железо с железистосинеродистым калием по [8, 9]. Углеводный состав сахаросодержащего продукта определяли хроматографическим методом – высокоэффективной гель-хроматографией в системе Спектрофизикс.

Результаты и их обсуждение

Выбор оптимальных условий эффективного упаривания. ***Толщина испарительной колбы.*** Испарительные колбы, которые использовались раньше, имели более тонкие стенки по сравнению с современными аналогами. Благодаря годам исследований, современным технологиям и автоматизации процессов производства конструкция колбы усовершенствована и оптимальна для достижения максимальной эффективности упаривания. Требования к стеклу высоки: оно должно быть стойким к механическим воздействиям и выдерживать такие условия, как высокую температуру или ее резкую смену при низком давлении. Поэтому определение оптимальной толщины стенок при выборе испарительной колбы имеет большое значение, в том числе в вопросах безопасности.

Эффективность упаривания зависит от количества тепловой энергии, которое передается образцу внутри испарительной колбы [16, 19, 21, 22]. Более толстый (стеклянный) барьер препятствует передаче теплоты.

Анализ влияния толщины стенки испарительной колбы на скорость упаривания образца при одностадийной дистилляции проводили путем упаривания ацетона в пяти однолитровых колбах с различной толщиной стенок (от 1,6 до 3,0 мм), а затем воды с применением трех различных колб (толщиной от 1,5 до 3,0 мм) (табл. 1).

Результаты эксперимента представлены на графике на рисунке 1. Как видно из данных, представленных на графике, чем тоньше стенка испарительной колбы, тем выше эффективность упаривания. Очевидно различие в эксперименте с использованием ацетона. Например, испарительная колба с толщиной стенок 1,6 мм достигает на 54 % более высокой скорости упаривания по сравнению со стенками толщиной 3,0 мм.

Эксперимент показывает, что толщина стенок колбы влияет на скорость упаривания. С более тонкими стенками теплопередача от нагревателя бани к образцу внутри испарительной колбы (1,5 и 1,8 мм) выше, что уменьшает время упаривания. Чем толще стекло (2,5 и 3,0 мм), тем дольше процесс передачи тепла, что приводит к снижению скорости упаривания.

Существует разница в использовании колб с тонкими и толстыми стенками. Например, при использовании более тонкого стекла (1,5 мм) возрастает риск его повреждения, но более толстое стекло (3,0 мм) снижает эффективность упаривания. Испарительная колба должна быть максимально тонкой, но выдерживать низкое давление и такие воздействия, как высокая температура и ее резкие изменения. Поэтому оптимальная толщина стекла стандартной испарительной колбы 1 л составляет около 1,8 мм. Такое исполнение сможет обеспечить полную величину теплопередачи и высокий уровень безопасности при использовании.

Размер испарительной колбы. Важным фактором увеличения эффективности упаривания является правильный выбор размера испарительной колбы как одной из главных составляющих ротационной

Таблица 1. Основные параметры эксперимента

Table 1. Experimental parameters

Растворитель	Ацетон и вода
Температура нагревательной бани	60 °С
Температура охлаждения	10 °С
Давление	556 мбар (ацетон) 72 мбар (вода)
Размер колбы	1 л
Наполнение	500 мл
Глубина погружения колбы	Уровень заполнения колбы
Скорость вращения	280 об/мин

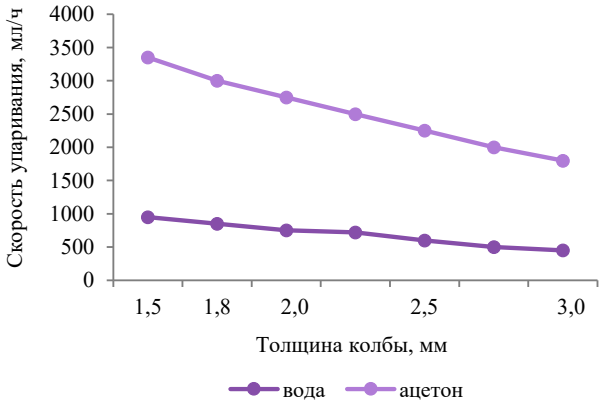


Рисунок 1. Влияние толщины колбы на эффективность упаривания

Figure 1. Effect of flask thickness on evaporation efficiency

установки. Если сравнить колбы двух размеров, то можно сделать вывод о том, что теплоперенос внутри большей колбы проходит активнее из-за большей площади поверхности теплообмена.

В связи с этим изучили влияние размера испарительной колбы на скорость испарения растворителя в одностадийном упаривании. Для эксперимента были выбраны испарительные колбы объемом от 250 мл до 4 л. Для колб объемом до 1 л объем образца составил 200 мл, для колб объемом 1 л и более – 750 мл. Данные основных параметров представлены в таблице 2.

Как показано на графике на рисунке 2, скорость упаривания увеличивается с ростом объема колбы. Если принять эффективность упаривания из колбы на 1 л за 100 %, то колба 2 л имеет показатель 147 %, а колба 4 л – 209 %. Колба на 250 мл обладает эффективностью всего на 38 % по сравнению с колбой на 1 л (рис. 2).

Эксперимент показал, что чем больше размер колбы, тем выше скорость упаривания. Например, скорость упаривания из колбы 4 л выше, чем из колбы 1 л (рис. 2). Это происходит благодаря прямой связи между площадью поверхности колбы и повышением эффективности упаривания. За счет

Таблица 2. Основные параметры эксперимента

Table 2. Experimental parameters

Растворитель	Ацетон
Температура нагревательной бани	60 °C
Температура охлаждения	10 °C
Давление	556 мбар
Размер колбы	От 250 мл до 4 л
Наполнение	От 200 до 750 мл
Глубина погружения	Уровень заполнения колбы

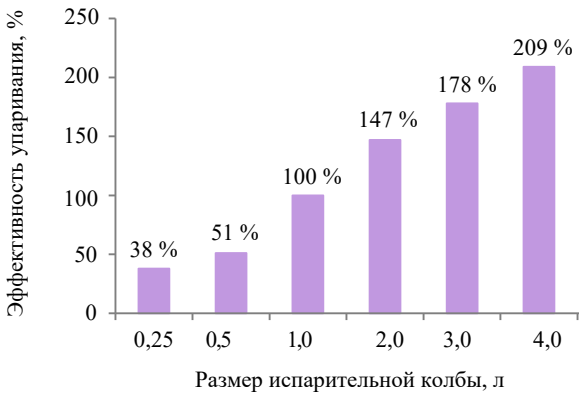


Рисунок 2. Влияние размера испарительной колбы на эффективность упаривания

Figure 2. Effect of evaporation flask size on evaporation efficiency

большего диаметра колбы ее линейная скорость вращения выше, что обеспечивает лучшее перемешивание образца. Из-за большей площади поверхности контакта тепловой поток от нагревательной бани через колбу к образцу увеличивается. К достоинствам колбы большего размера можно отнести способность к предотвращению вспенивания и негативных последствий неравномерного кипения и пробросов. Колбы меньшего размера больше подходят для количественного сбора сухого остатка после упаривания, а также предоставляют возможность работать с большим диапазоном изменения угла наклона.

Размер испарительной колбы должен быть максимальным из возможных для данного применения. Более крупная испарительная колба обладает большой поверхностью для увеличенной эффективности упаривания. Однако если остаток должен быть количественно собран для дальнейшего анализа, то колба должна иметь небольшой объем, чтобы избежать риска потери образца. Таким образом, оптимальный размер колбы обусловлен объемом образца и применением: объем должен вдвое превышать начальный объем образца.

Угол наклона испарительно колбы. До недавнего времени производители ротационных испарителей предпочитали располагать испарительную колбу под небольшим углом к поверхности, т. е. практически горизонтально. Более того, выбор колб разного размера был небольшим, возможности регулировки ограничены, а нагревательная баня представляла собой не связанный с ротационным испарителем отдельный модуль. В современных ротационных испарителях нагревательная баня располагается на общей платформе с основным прибором. Для них предполагается большой выбор испарительных колб разного размера и имеется несколько комплектов стеклянных элементов (холодильников, приемников, испарительных колб), обеспечивающих разнообразную конфигурацию ротационных испарителей для широкого спектра применений.

В современных ротационных испарителях угол наклона колбы может регулироваться [22]. Влияние угла наклона колбы влияет на режимы упаривания. При вертикальном расположении оси вращения содержимое колбы практически не перемешивается, поэтому теплопередача ограничена площадью погружения колбы. Кроме того, в нагревательной бане почти отсутствует турбулентность. Как следствие, тепло от бани передается небольшому объему упариваемой жидкости, погруженному в теплоноситель.

Уменьшение угла наклона приводит к лучшему перемешиванию содержимого колбы. Большая площадь поверхности вращающейся испарительной колбы контактирует с нагретым в бане теплоносителем. Это способствует более эффективному

теплопереносу и повышению интенсивности испарения и препятствует возникновению локального перегрева.

В случае малого угла наклона колбы относительно горизонтальной оси еще большая часть ее поверхности ее смачивается теплоносителем бани. Благодаря вращению тонкая пленка теплоносителя нагревательной бани покрывает почти всю поверхность вращающейся испарительной колбы. Более того, за счет вращения колбы сам теплоноситель перемешивается сильнее, что приводит к более равномерному распределению теплоты. Однако малый угол наклона создает риск перелива растворителя из испарительной колбы в приемную.

К недостаткам систем с малым углом наклона относится невозможность глубокого погружения испарительной колбы в нагревательную баню, что характерно для колб малого объема. Более того, упаривание образцов в колбах малого объема часто сопровождается вспениванием и неравномерным кипением с перебросом содержимого колбы в приемник.

Если сравнивать влияние угла наклона колбы на эффективность упаривания с другими параметрами, то ясно, что оно велико. Поэтому представлялось целесообразным проанализировать эффективность упаривания при различных значениях угла наклона. Эксперимент был направлен на выявление зависимости между углом наклона оси вращения испарительной колбы и скорости испарения растворителя в ходе одностадийного упаривания. В ходе эксперимента была измерена скорость упаривания ацетона при углах наклона колбы 10°, 25° и 35° и скорости вращения 50, 150 и 250 об/мин (табл. 3).

В результате исследований установлено (рис. 3), что угол наклона от 35° до 10° приводит к повышению скорости упаривание с 88 % (при скорости вращения 50 об/мин) до 210 % (при 250 об/мин).

Уменьшение угла наклона с 25° до 10° приводит к повышению скорости упаривания на 10–11 % (при 250 об/мин). Наибольшая эффективность испарения достигается при снижении угла наклона с 35° до 25°. Для всех трех углов максимальное различие в значениях было достигнуто при более высокой скорости вращения.

Эксперимент показал, что испытания с углом наклона 10° и 25° (почти горизонтальная и стандартная позиция) обеспечивают большую скорость упаривания, чем при расположении колбы под углом 35° (высокий угол). Это объясняется тем фактом, что из-за почти горизонтального расположения колбы площадь активной поверхности внутри нее увеличивается, что повышает скорость упаривания. Разница в эффективности процесса при значениях угла наклона 10° и 25° выражена не так сильно.

В качестве рекомендаций можно отметить, что угол наклона оси вращения испарительной колбы должен быть минимальным для создания максимальной турбулентности внутри нее. Более того, для повышения эффективности упаривания испарительную колбу следует погрузить в баню таким образом, чтобы уровень растворителя в колбе был не выше уровня теплоносителя в бане. Представленное исследование показало, что угол погружения 25° обеспечивает наиболее эффективное упаривание без риска потери образца.

Скорость вращения испарительной колбы. Упаривание и перегонка – одни из наиболее часто используемых методов разделения. Однако существуют сложности в подборе оптимальной скорости вращения испарительной колбы.

Существует несколько факторов, связанных с вращением и влияющих на эффективность испарения: благодаря вращению теплоноситель внутри бани лучше перемешивается по причине дополнительной турбулентности, что приводит к росту коэффициента теплопереноса и увеличению теплопереноса от бани к колбе и от колбы к растворителю; при вращении испарительной колбы увеличивается площадь активной поверхности жидкости, участвующей в процессе испарения. По мере прогрева испарителя происходит его распределение по теп-

Таблица 3. Основные параметры эксперимента

Table 3. Experimental parameters

Растворитель	Ацетон
Температура нагревательной бани	60 °C
Температура охлаждения	10 °C
Давление	556 мбар
Размер колбы	1 л
Наполнение	500 мл
Глубина погружения колбы	Уровень заполнения колбы

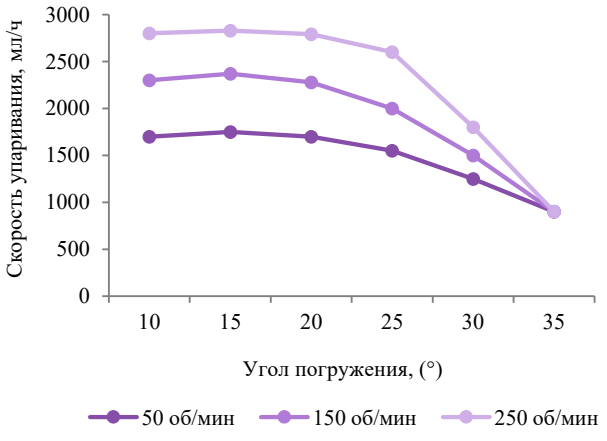


Рисунок 3. Влияния угла погружения на скорость упаривания

Figure 3. Effect of immersion angle on evaporation rate

лой внутренней поверхности колбы в виде тонкой пленки. Эта пленка частично испаряется, приводя к повышению скорости упаривания. Жидкость находится на стенке колбы в конкретной точке только на протяжении небольшого промежутка времени. Происходит постоянная гомогенизация образца, предотвращающая локальный перегрев и образование корки растворенного вещества. Сила трения и центробежная сила между стенкой вращающейся колбы и испаряющейся жидкостью приводят к образованию тонкой пленки теплого растворителя, покрывающей внутреннюю поверхность колбы.

Дополнительным положительным эффектом от силы, создаваемой вращением колбы, будет подавление неравномерного кипения, вспенивания и перегрева жидкости. Однако чем выше скорость вращения, тем больше вероятность механических неполадок ротационного испарителя и сильнее его вибрационный износ.

При вращении испарительной колбы скорость упаривания возрастает. Но остается неясным то, насколько скорость вращения влияет на скорость упаривания. Чтобы это понять, необходимо экспериментально определить зависимость эффективности упаривания от скорости вращения.

Исследования проводили в два этапа. Первоначально для улучшения общего представления о влиянии скорости вращения была измерена эффективность упаривания ацетона при девяти различных скоростях вращения (от 50 до 500 об/мин) (табл. 4). Затем была измерена скорость упаривания воды в статическом положении и при шести значениях скорости вращения в пределах нормального диапазона работы прибора, т. е. до 280 об/мин.

Как видно из данных графика, представленного на рисунке 4, увеличение скорости вращения до 300 об/мин приводит к росту эффективности упаривания, но при скорости выше 400 об/мин (ацетона) начинает снижаться. Серия экспериментов с водой показала, что дистилляция была заметна при низких скоростях вращения и снижалась при скоростях выше 280 об/мин.

Исследования показали, что максимальная эффективность упаривания достигается при скорости вращения 300 об/мин. Это связано с тем, что по мере увеличения скорости вращения может быть достигнута такая точка, при которой содержимое колбы будет прижиматься центробежной силой к стенкам и вращаться вместе с ней. В этом случае турбулентное перемещение жидкости практически прекратится, что повлечет снижение скорости упаривания. Условия режима с оптимальной турбулентностью зависят от размера колбы, консистенции образца и его объема.

Скорость вращения ротора должна быть подобрана таким образом, чтобы турбулентность как в испарительной колбе, так и в нагревательной бане была высокой. Это позволит достичь максимальной эффективности упаривания. Однако слишком высокие скорости вращения уменьшают срок службы ротационного испарителя. В связи этим рекомендуемая оптимальная скорость вращения колбы составляет от 250 до 280 об/мин.

Разница температур. Эффективность ротационного испарителя на входе ограничена количеством тепла, поступающего от нагревательной бани, а на выходе – теплом, отведенным от холодильника-конденсатора. Большая часть энергии, поглощаемая растворителем, необходима для его перевода в газообразное состояние, в то время как при конденсации то же количество энергии должно быть отведено от системы.

До недавнего времени только функция подогрева бани легко регулировалась. Температуру хладагента в конденсаторе изменять было сложнее, поскольку обычно для этих целей применялась водопроводная вода. Точность регулировки вакуума также оставляла желать лучшего.

Таблица 4. Основные параметры эксперимента

Table 4. Experimental parameters

Растворитель	Ацетон и вода
Температура нагревательной бани	60 °C
Температура охлаждения	10 °C
Давление	556 мбар (ацетон) 72 мбар (вода)
Размер колбы	1 л
Наполнение	500 мл
Глубина погружения колбы	Уровень заполнения колбы

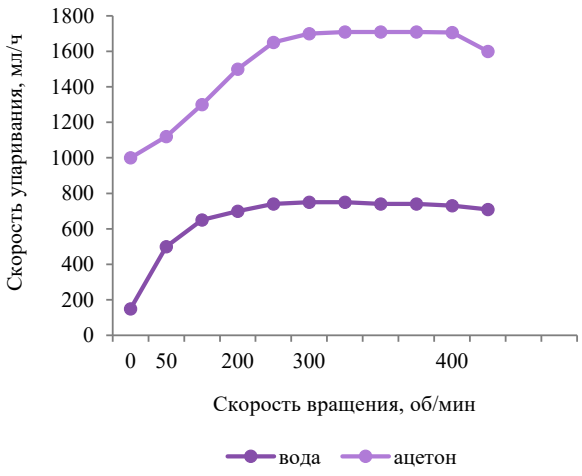


Рисунок 4. Влияние скорости вращения на эффективность упаривания

Figure 4. Effect of rotation speed on evaporation efficiency

Вакуум можно легко контролировать и поддерживать автоматически на заданном уровне, а возможности современных криостатов позволяют точно регулировать температуру охлаждения, обычно в диапазоне от –10 до 25 °C. Таким образом, холодильник, подключенный к криостату, будет работать эффективнее, чем системы охлаждения с проточной водопроводной водой. Уменьшение температуры конденсации снижает температуру подогрева испарительной колбы, позволяя проводить дистилляцию при более низких температурах.

Выбор режима упаривания – подбор температуры нагревательной бани, вакуум и температура охлаждения – осуществляется исходя из пропускной способности холодильника. Считается, что холодильник работает в оптимальном режиме, если конденсатом покрыто две трети его площади, а оставшаяся незаполненной верхняя треть холодильника служит барьером безопасности, препятствующим уносу паров легколетучих растворителей и позволяющим сглаживать колебания давления в системе [19, 22]. Если в холодильнике наблюдаются нисходящие потоки конденсата или для поддержания требуемого давления вакуумный насос вынужден работать без остановки, то мощности установленного холодильника недостаточно для выбранного режима упаривания. Скорости упаривания и конденсации должны быть уравновешены друг с другом для поддержания установленного динамического давления. При работе с термочувствительными образцами температуру в бане необходимо устанавливать невысокой, чтобы избежать их разложения. Кроме того, с баней, нагретой до небольшой температуры, гораздо удобнее работать. Например, при температуре бани 60 °C смена испарительной колбы происходит безопасно, без риска получения ожогов. При высоких температурах теплоноситель в бане испаряется быстрее и должен чаще пополняться. Это приводит к дополнительному расходу энергии на нагрев добавленного теплоносителя.

Факторы нагрева и охлаждения важны при оптимизации времени упаривания. Поэтому представлялось интересным исследовать то, до какой степени различные температуры нагревательной бани влияют на эффективность упаривания.

Целью предлагаемого эксперимента было выявление зависимости между количеством тепловой энергии, подводимой к системе, и скоростью испарения растворителя в ходе одностадийного упаривания (табл. 5).

Эксперимент проводили при пяти различных температурах бани (от 40 до 80 °C). Результаты, представленные на рисунке 5, свидетельствуют о том, что увеличение температуры теплоносителя в бане приводит к росту эффективности упаривания. Наблюдается практически линейная зависимость. Например, при температуре бани 80 °C эффективность упаривания примерно в четыре раза выше, чем при 40 °C.

Данные исследования показали, что по мере увеличения температуры бани эффективность упаривания возрастает. Однако энергопотребление бани и криостата также увеличивается. При установке температуры бани 80 °C испаряющийся растворитель будет обладать большой энергией, для отвода которой потребуется более производительный конденсатор или более низкая температура хладагента, чем для конденсации пара, нагретого до меньшей температуры (например, 60 °C).

Поэтому необходимо правильно подобрать температуру нагревательной бани и вакуум для того, чтобы режим работы холодильника-конденсатора был близок к оптимальному и работал без перегрузки. Для установки нормального режима конденсатора температура охлаждения должна быть на 20 °C ниже, чем температура паров [4].

На основании полученных данных можно сформулировать простое правило «Δ 20 °C»: при установке температуры бани на уровне 60 °C температура пара в испарителе будет равной 40 °C и для его конденсации будет достаточно температуры

Таблица 5. Основные параметры эксперимента

Table 5. Experimental parameters

Растворитель	Ацетон
Давление	44 мбар
Температура паров	30 °C
Температура охлаждения	7 °C
Размер колбы	1 л
Содержимое	500 мл
Глубина погружения колбы	Уровень заполнения колбы

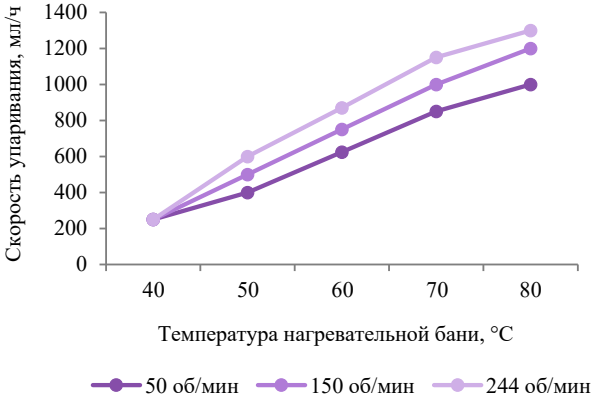


Рисунок 5. Влияние температуры бани на эффективность упаривания

Figure 5. Effect of bath temperature on evaporation efficiency

Таблица 6. Химический состав экстракта и концентрата ягод черники

Table 6. Chemical composition: blueberry extract vs. concentrate

Показатели	Экстракт черники	Концентрат черники
Масса сухих веществ, %	8,40 ± 0,10	70,00 ± 0,20
Полифенольные соединения, мг/л	1445,00 ± 0,25	2692,00 ± 0,25
Антоцианы, мл/л	235,00 ± 0,10	322,00 ± 0,10
Железо, мл/л	0,70 ± 0,01	2,40 ± 0,01
Витамин С, мг/100 г	10,00 ± 1,00	9,60 ± 1,00
Общее содержание сахаров, г/100 мл	9,26 ± 0,20	12,80 ± 0,15

хладагента в конденсаторе 20 °С. Это правило также применимо при подборе температуры бани для упаривания легкокипящих растворителей или термочувствительных веществ. Например, можно выбрать следующие значения: хладагент 0 °С, пары 20 °С, баня 40 °С. Чтобы растворитель гарантированно кипел при 40 °С, необходимо понизить давление в системе с помощью вакуумного насоса.

Баня с температурой 60 °С опасна в обращении и может стать причиной несчастных случаев. Кроме того, экологические и экономические аспекты также следует принимать во внимание. Правило «Δ 20 °С» позволяет удалять растворитель легко и эффективно.

Подводя итоги, можно сказать, что правило «Δ 20 °С» представляет собой компромисс между эффективностью упаривания и снижением потребления энергии. Оптимальные значения нагрева и охлаждения зависят от выбранного применения и могут быть настроены индивидуально для каждого образца

Применение эффективного упаривания для получения концентратов из растительного сырья. Одним из способов консервирования является экстракция – это извлечение растворимых веществ с помощью растворителя [8–13]. Поэтому первым объектом исследования был выбран экстракт из ягод черники лесной. Уникальность данной ягоды и ее сока состоит в том, что она практически не вызывает аллергических реакций и не имеет противопоказаний к применению, обладает высоким содержанием витаминов, богата антиоксидантами, которые разрушаются при высоких температурах, и содержит антоцианиновые красящиеся вещества, разлагающиеся при высоких температурах [12–15]. В связи с этим особенный интерес представляло использование ротационного испарителя для низкотемпературного концентрирования получаемых экстрактов.

Концентрация и деалкоголизация полученного экстракта проводится в ротационном испарителе при ранее выбранных условиях до содержания сухих веществ 70 %: объем испарительной колбы – 1 л, толщина стенок колбы – 1,8 мм, угол наклона – 25°, скорость вращения – 280 об/мин, давление вакуума в испарителе p = 870 ± 1 мбар, температура нагревательной бани – 50 °С, пара – 30 °С, охладителя – 10 °С. Полученный концентрат фильтровали и охлаждали до 20 °С. Дальнейшие исследования были направлены на сравнение химического состава спиртового ферментативного экстракта и конечного продукта – концентрата из ягод черники лесной (табл. 6).

Из данных таблицы 6 видно, что проведение процесса концентрирования на вакуумной установке при низкой температуре нагрева 50 °С и оптимальных параметрах процесса упаривания приводит к увеличению биологически активных веществ: полифенольных соединений – в 1,86 раз, антоцианов – в 1,4 раза. Содержание этих веществ оказывает благоприятное влияние на состояние сетчатки глаза [24, 25].

Подводя итоги, можно сделать заключение о том, что мягкие условия упаривания являются целесообразными и позволяют увеличить не только содержание ценных физиологически функциональных ингредиентов в продукте, но и сохранить насыщенно сине-фиолетовый цвет, свойственный натуральным ягодам. Следовательно, полученный концентрат ягод может быть использован в качестве натурального красителя или полифункциональной добавки при производстве натуральных и экологически чистых продуктов питания [10, 25–28].

Второй объект исследования – ферментативный гидролизат крахмала зернового сорго с содержанием сухих веществ 24–26 %.

Упаривание двух литров полученного жидкого гидролизата проводили в ротационном испарителе при ранее выбранных условиях до содержания сухих веществ 78–80 %: объем испарительной колбы – 4 л, толщина стенок колбы – 1,8 мм, угол наклона – 25°, скорость вращения – 280 об/мин, давление вакуума в испарителе p = 875 ± 1 мбар, температура нагревательной бани – 60 °С, пара – 40 °С, охладителя – 20 °С, атмосферное давление при температуре 95 °С. Концентрат фильтровали и охлаждали до 20 °С.

Была проведена сравнительная оценка полученных двумя способами концентрирования сахарных сиропов из ферментативного гидролизата крахмала сорго с содержанием глюкозного эквивалента 91–92 % в перечете на сухое вещество. Данные представлены в таблице 7.

Таблица 7. Сравнительная характеристика сахарного сиропа различного способа концентрирования

Table 7. Sugar syrups of various concentration methods

Способ концентрирования	Атмосферное давление	Вакуумное выпаривание
Температура, °С	95	60
Время упаривания, мин	100–120	30–35
Цвет	От коричневого до темно-коричневого	От светло-бежево до золотистого
Запах	Не имеет	Не имеет
Вкус	Сладкий	Сладкий
Внешний вид	Вязкая, не прозрачная, средней однородности масса	Вязкая, прозрачная, однородная масса

Как видно из данных, представленных в таблице 7, упаривание в вакууме имеет ряд преимуществ по органолептическим показателям и позволяет сократить время получения сгущенного сахарного сиропа в 4 раза.

Углеводный состав сгущенного сахарного сиропа, полученного методом высокоэффективной гель-хроматографией:
– сахарный сироп – глюкозный эквивалент 91–92 %;
– глюкоза – 83–85 % к глюкозному эквиваленту;
– мальтоза – 7–8 % к глюкозному эквиваленту;
– декстрины – 8–9 % к глюкозному эквиваленту.

Выводы

Исследовали влияние на процесс упаривания таких факторов, как толщина слоя стенок и размер испарительной колбы, скорость вращения и угол наклона колбы, а также разница температур бани, паров и охлаждения. Выявили основные закономерности и экспериментально определили оптимальные значения эффективного режима упаривания с использованием ротационного испарителя: объем испарительной колбы – 1 л, толщина стенок колбы – 1,8 мм, угол наклона – 25°, скорость вращения – 280 об/мин, давление вакуума в испарителе р = 770–775 мбар, температура нагревательной бани – 50 °С, пара – 30 °С, охладителя – 10 °С.

Получили результаты экспериментальных исследований по практическому применению эффективного режима упаривания на примере получения концентратов с высоким содержанием сухих веществ из растительного сырья. Анализ химического состава сгущенного сахарного сиропа с содержанием редуцирующих сахаров в пересчете на глюкозный эквивалент 91–92 % (глюкоза – 83–85 % к глюкозному эквиваленту, мальтоза – 7–8 % к глюкозному эквиваленту, декстрины 8–9 % к глюкозному эквиваленту) дает возможность рекомендовать данный сироп с содержанием сухих веществ 78–80 % в качестве самостоятельного десертного пищевого продукта.

Спиртовая экстракция, ферментативная обработка ягод черники и мягкие условия упаривания позволили получить концентрат ягод черники с содержанием полифенольных соединений 2692 мг/л и антоцианов 322 мл/л, который может быть использован в качестве натурального красителя или полифункциональной добавки при производстве натуральных и экологически чистых продуктов питания.

Критерии авторства

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors participated in the research, data processing, and writing and are equally responsible for any potential plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Levchuk TV, Chesnokova NYu, Levochkina LV, Ganzyuk MA. Development of sugar confectionery using extracts of manchurian walnut pericarp. Food Processing: Techniques and Technology. 2017;45(2):48–54. (In Russ.). [Разработка сахаристых кондитерских изделий с использованием экстрактов околоплодника ореха маньчжурского / Т. В. Левчук [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 45. № 2. С. 48–54.]. https://elibrary.ru/ZCOQFH

2. Eremeeva NB, Makarova NV, Platonov IA. Antioxidant activity of chokeberry extracts obtained in supercritical conditions. Food Processing: Techniques and Technology. 2016;42(3):12–18. (In Russ.). [Еремеева Н. Б., Макарова Н. В., Платонов И. А. Антиоксидантная активность экстрактов черноплодной рябины, полученных в надкритических условиях // Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 42. № 3. С. 12–18.]. https://elibrary.ru/WMEMXL

3. Gorlov IF, Fedotova GV, Lamzin RM, Vasilyeva MO. Assessment of the structure and quality of nutrition of the russian federation' s population. Agrarian-and-Food Innovations. 2021;13(1):69–79. (In Russ.). https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-13-69-79

4. Grishin NS, Gorshunova AN, Farkhutdinov AF, Malikov IR. Development of a laboratory concentrator-evaporator. Bulletin of the Technological University. 2017;20(8):36–40. (In Russ.). [Разработка концентратора-выпаривателя лабораторного образца / Н. С. Гришин [и др.] // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 8. С. 36–40.].

5. Bazhenova BA, Zhamsaranova SD, Zabalueva YuYu, Gerasimov AV, Zambulaeva ND. Effects of lingonberry extract on the antioxidant capacity of meat paste. Foods and Raw Materials. 2020;8(2):250–258. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-250-258

6. Khasanov VV, Makarycheva AI, Slizhov YuG. Determination of trace amounts of aliphatic acids in natural waters using liquid-liquid extraction. Journal of Analytical Chemistry. 2020;75(2):116–122. (In Russ.). https://doi.org/10.31857/S0044450220020085

7. Karimov DR, Makarov VV, Kruchin SO, Berezin DB, Smirnova NL, Berezin MB, *et al.* Optimization of extraction conditions of chlorophylls *A* and *B* from Urtica dioica L. and Spirulina platensis. Chemistry of Plant Raw Materials. 2014;(4):189–196. (In Russ.). [Оптимизация условий выделения хлорофиллов из крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) и спирулины (*Spirulina platensis*) / Д. Р. Каримов [и др.] // Химия растительного сырья. 2014. № 4. С. 189–196.]. https://elibrary.ru/TQBWUB

8. Fidelis M, Granato D. Technological applications of phenolic-rich extracts for the development of non-dairy foods and beverages. Advances in Food and Nutrition Research. 2021;98:101–123. https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.006

9. Azadova EF, Akhmedov ME, Demirova AF. Efficiency of microwave blanching and mild pasteurization in production of pear compote for infant food. Journal of International Academy of Refrigeration. 2019;(4):71–77. (In Russ.). https://doi.org/10.17586/1606-4313-2019-18-4-71-77

10. Maleeva AZ, Shcherbakova EV. The processing impact of grape marc Lallzyme EX-V enzyme preparation the quality and safety of food obtained enocianina. Fruit Growing and Viticulture of South Russia. 2020;(62):100–112. (In Russ.). https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-2-62-100-112

11. Ascheulov AS. Investigation of the process of evaporation of chokeberry infusions. Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2017;(126):131–140. (In Russ.). https://doi.org/10.21515/1990-4665-126-009

12. Skorospelova EV, Mikhailova OYu, Shelkovskaya NK. Improvement technology of concentrated juices from fruits and berries of Altai selection. Polzunovskiy Vestnik. 2021;(2):7–13. (In Russ.). https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.001

13. Nayak B, Liu RH, Tang J. Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains – A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2015;55(7):887–918. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.654142

14. Oreopoulou A, Tsimogiannis D, Oreopoulou V. Extraction of polyphenols from aromatic and medicinal plants: An overview of the methods and the effect of extraction parameters. In: Watson RR, editor. Polyphenols in plants. Isolation, purification and extract preparation. Academic Press; 2019. pp. 243–259. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813768-0.00025-6

15. Büyükkormaz Ç, Küçükbay FZ. Kumquat fruit and leaves extracted with different solvents: phenolic content and antioxidant activity. Foods and Raw Materials. 2022;10(1):51–66. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-51-66

16. Tsareva AA, Shemyakin AYu, Grishin NS. Multi-module concentrator-evaporator vs. vacuum rotary evaporator. Vacuum technique and technology: Proceedings of the 10th Russian Student Scientific and Technical Conference; 2021; Kazan. Kazan: Kazan National Research Technological University; 2021. p. 149–150. (In Russ.). [Царева А. А., Шемякин А. Ю., Гришин Н. С. Сравнение конструкции многомодульного концентратора-выпаривателя с вакуумным ротационным испарителем // Вакуумная техника и технология: материалы Десятой Российской студенческой научно-технической конференции. Казань, 2021. С. 149–150.]. https://elibrary.ru/VSRLVQ

17. Abd Aziz NA, Hasham R, Sarmidi MR, Suhaimi SH, Idris MKH. A review on extraction techniques and therapeutic value of polar bioactives from Asian medicinal herbs: Case study on *Orthosiphon aristatus*, *Eurycoma longifolia* and *Andrographis paniculata*. Saudi Pharmaceutical Journal. 2021;29(2):143–165. https://doi.org/10.1016/j.jsps.2020.12.016

18. Chernobrovina AG, Kulikova NE, Roeva NN, Popova OYu. The influence of red currant berries pretreatment on phytoingredients extraction and juice complexing properties. Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences. 2021;220(6):111–117. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2021_220_06_11

19. Gritsenko VV. Upgrade of equipment set up for producing liquid concentrated food stuffs by using a rotary spray evaporator. Rubtsovsk: Rubtsovsk Industrial Institute; 2014. 135 p. (In Russ.). [Гриценко В. В. Совершенствование машинно-аппаратурного оформления процессов производства жидких концентрированных пищевых продуктов с использованием роторного распылительного выпарного аппарата. Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2014. 135 с.]. https://elibrary.ru/TIFSTF

20. Kulikova NE, Chernobrovina AG, Roeva NN, Popova OYu. Studying the process of bioconversion of grain sorghum starch. Polish Journal of Science. 2020;(28–2):12–15. (In Russ.). [Изучение процесса биоконверсии крахмала зернового сорго / Н. Е. Куликова [и др.] // Polish Journal of Science. 2020. № 28–2. С. 12–15.]. https://elibrary.ru/QXPDSH

21. Koval AA, Krasnoselov VA. Use drum film evaporators for the solution of problems of processing of liquid radioactive waste. Bulletin of the Dimitrovgrad Engineering and Technology Institute. 2016;9(1):19–27. (In Russ.). [Коваль А. А., Красноселов В. А. Использование барабанных плёночных испарителей для решения проблем переработки жидких радиоактивных отходов // Вестник Димитровградского инженерно-технологического института. 2016. Т. 9. № 1. С. 19–27.]. https://elibrary.ru/WEZLNT

22. Shemyakin AYu, Tsareva AA. Processes and design of a concentrator-evaporator. Relevant issues of modern science: theory, technology, methodology, and practice: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference; 2021; Ufa. Ufa: Scientific and Publishing Center Herald of Science; 2021. p. 80–84. (In Russ.). [Шемякин А. Ю., Царева А. А. Исследование процессов и конструирование концентратора-выпаривателя // Актуальные вопросы современной науки: теория, технология, методология и практика: Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции. Уфа, 2021. С. 80–84.]. https://elibrary.ru/UOEXYZ

23. Omysheva DS. Methods for detecting falsification of goods on the example of cognac. Methods for detecting falsification of goods on the example of cognac. Relevant issues of national economy: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference; 2021; Perm. Perm: Perm State University; 2021. p. 271–278. (In Russ.). [Омышева Д. С. Методы обнаружения фальсификации товаров на примере коньяка // Актуальные вопросы развития национальной экономики: Материалы X Международной научно-практической конференции. Пермь, 2021. С. 271–278.]. https://elibrary.ru/PCQUSN

24. Ibragimova GE, Shustova TA. Eye safety and computers. XXIII Vishnyakov's Readings. University science: conditions for the effectiveness of the socio-economic and cultural development of the region: Proceedings of the international scientific conference; 2020; Boksitogorsk. St. Petersburg: Pushkin Leningrad State University; 2020. p. 278–282. (In Russ.). [Ибрагимова Г. Е., Шустова Т. А. Профилактика органов зрения при работе за компьютером // XXIII Вишняковские чтения. Вузовская наука: условия эффективности социально-экономического и культурного развития региона: Материалы международной научной конференции. СПб., 2020. С. 278–282.]. https://elibrary.ru/UOPHAV

25. Osorio-Macías DE, Vásquez P, Carrasco C, Bergenstahl B, Peñarrieta JM. Resveratrol, phenolic antioxidants, and saccharides in South American red wines. International Journal of Wine Research. 2018;10:1–11. https://doi.org/10.2147/IJWR.S152026

26. McAnulty LS, Collier SR, Hubner ML, Anoufriev G, McAnulty SR. Chronic and acute effects of red wine versus red muscadine grape juice on body composition, blood lipids, vascular performance, inflammation, and antioxidant capacity in overweight adults. International Journal of Wine Research. 2019;11:13–22. https://doi.org/10.2147/IJWR.S206401

27. Aukhadieva MI, Dubkova NZ. Theoretical and experimental studies of obtaining BAFs from anthocyan-containing berries. Food technologies and biotechnologies: Proceedings of the XVII All-Russian Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students with International Participation; 2021; Kazan. Kazan: Kazan National Research Technological University; 2021. p. 123–127. (In Russ.). [Аухадиева М. И., Дубкова Н. З. Теоретические и экспериментальные исследования получения БАД из антоцианосодержащих ягод // Пищевые технологии и биотехнологии: Материалы XVII Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием. Казань, 2021. С. 123–127.]. https://elibrary.ru/HVUYSF

28. Dubkova NZ, Kharkov VV, Vakhitov MR. Using Jerusalem artichoke powder in functional food production. Foods and Raw Materials. 2021;9(1):69–78. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-69-78

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2439
https://elibrary.ru/WVUMRP

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Effects of a Plant-Based Additive on the Properties of Flour and Dough during Fermentation

Alexander V. Maslov*, Zamira Sh. Mingaleeva, Timur A. Yamashev, Oksana V. Starovoitova

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Received: 29.11.2022
Revised: 26.12.2022
Accepted: 10.01.2023

**Alexander V. Maslov: maslov-aleksandr95@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-5841-0705*
Zamira Sh. Mingaleeva: https://orcid.org/0000-0003-3076-9104
Timur A. Yamashev: https://orcid.org/0000-0002-4758-7924
Oksana V. Starovoitova: https://orcid.org/0000-0003-0790-4582

© A.V. Maslov, Z.Sh. Mingaleeva, T.A. Yamashev, O.V. Starovoitova, 2023

Abstract.
To ensure a balanced diet, bakers use plant-based raw materials with a high nutritional value which affect the properties of flour and dough. We aimed to study the effects of a complex additive based on plant components on wheat flour's amylolytic activity and gas-forming ability, as well as on the dough's rise and gas-retaining ability during fermentation.
Our study objects included premium wheat flour, a water-flour suspension, and wheat dough with a complex additive (at concentrations of 10, 16, and 22% by weight of flour mixtures). The additive contained whole wheat flour, crushed sprouted spelt, powdered pumpkin seeds, oyster mushrooms, and gooseberries at a ratio of 56.3:25.0:17.2:0.9:0.6, respectively. An amylograph-E was used to study the viscosity of the water-flour suspension during heating, an ICHP-1-2 apparatus measured the falling number, and an F4 rheofermentometer assessed the flour's gas-forming ability and the dough's rise and gas-retaining ability.
The complex additive improved the enzymatic activity of the flour, increased the dough rise by an average of 8.4 mm, and reduced the fermentation time needed to reach the maximum height by an average of 17.8%, compared to the control. The total volume of carbon dioxide, as well as the volumes of lost and retained carbon dioxide, increased by an average of 35.8, 99.7, and 26.9%, respectively, compared to the control. The optimal concentration of the complex additive introduced into premium wheat flour was 16%, at which the dough rose to its maximum height and had the longest porosity time. To obtain high-quality products with this concentration of the additive, the total time of dough fermentation and proofing should be reduced by 17.8% compared to the unfortified dough.
The results can be used in the production of bakery products from premium wheat flour fortified with the complex additive based on plant components. During the process, it is important to determine the duration of dough maturation and reduce the total time of dough fermentation and proofing depending on the concentration of the additive. Further research is needed to study the effect of the complex additive on the structural and mechanical properties of dough during its development.

Keywords. Bakery products, dough, plant raw materials, fortification, quality, gas formation, gas-retaining ability, amylolytic activity, amylogram

Funding. The study was carried out at the educational and research laboratory "Quality Assessment for Foods and Raw Materials", Kazan National Research Technological University (KNRTU)

For citation: Maslov AV, Mingaleeva ZSh, Yamashev TA, Starovoitova OV. Effects of a Plant-Based Additive on the Properties of Flour and Dough during Fermentation. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):347–356. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2439

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2439
https://elibrary.ru/WVUMRP

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Влияние комплексной добавки на хлебопекарные свойства муки и теста при брожении

А. В. Маслов*, З. Ш. Мингалеева, Т. А. Ямашев, О. В. Старовойтова

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Поступила в редакцию: 29.11.2022
Принята после рецензирования: 26.12.2022
Принята к публикации: 10.01.2023

**А. В. Маслов: maslov-aleksandr95@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0001-5841-0705
З. Ш. Мингалеева: https://orcid.org/0000-0003-3076-9104
Т. А. Ямашев: https://orcid.org/0000-0002-4758-7924
О. В. Старовойтова: https://orcid.org/0000-0003-0790-4582

© А. В. Маслов, З. Ш. Мингалеева, Т. А. Ямашев, О. В. Старовойтова, 2023

Аннотация.
В хлебопекарной промышленности для обеспечения сбалансированности состава готовых изделий используется растительное сырье повышенной пищевой ценности, которое влияет на свойства муки и тестовых полуфабрикатов. Цель исследования заключалась в изучении влияния пищевой комплексной добавки на основе композиции растительных компонентов на амилолитическую активность и газообразующую способность муки пшеничной, динамику поднятия и газоудерживающую способность теста в процессе брожения.

Объектами исследования являлись мука пшеничная высшего сорта, водно-мучная суспензия и пшеничное тесто с пищевой комплексной добавкой (в концентрациях 10, 16 и 22 % к массе готовых мучных смесей). Пищевая комплексная добавка представляет собой смесь муки пшеничной обойной и измельченной пророщенной спельты, а также порошков семян тыквы, плодовых тел грибов вешенки и ягод крыжовника при соотношении 56,3:25,0:17,2:0,9:0,6 соответственно. Вязкость водно-мучной суспензии исследовали при нагревании с применением амилографа-Е, число падения определяли на приборе ИЧП-1-2, газообразующую способность муки, динамику поднятия и газоудерживающую способность теста – на реоферментометре F4.

Установлено, что при внесении пищевой комплексной добавки повышается ферментативная активность муки, увеличивается высота подъема теста в среднем на 8,4 мм и сокращается продолжительность брожения до достижения максимальной высоты подъема в среднем на 17,8 % по сравнению с контролем. Выявили увеличение общего объема и объемов потерянного и удержанного углекислого газа в среднем на 35,8, 99,7 и 26,9 % соответственно по сравнению с контролем. Оптимальная концентрация пищевой комплексной добавки совместно с пшеничной мукой высшего сорта составляет 16 %. В этом случае отметили максимальные высоту подъема теста и время начала потери тестом углекислого газа. Для получения готовых изделий высокого качества при данной дозировке пищевой добавки общее время брожения теста и расстойки тестовых заготовок следует сократить на 17,8 % по сравнению с тестовыми полуфабрикатами без добавки.

Полученные результаты могут быть использованы в производстве обогащенных хлебобулочных изделий из пшеничной муки высшего сорта с внесением пищевой комплексной добавки на основе растительных компонентов. Необходимо определять продолжительность созревания теста и сокращать общее время брожения и расстойки тестовых заготовок в зависимости от дозировки добавки. Целесообразно продолжить исследования в направлении изучения влияния пищевой комплексной добавки на структурно-механические свойства тестовых полуфабрикатов в процессе созревания.

Ключевые слова. Хлебобулочные изделия, тесто, растительное сырье, обогащение, качество, газообразование, газоудерживающая способность, амилолитическая активность, амилограмма

Финансирование. Работа выполнена на базе учебно-исследовательской лаборатории «Оценка качества продовольственного сырья и пищевой продукции» Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ).

Для цитирования: Влияние комплексной добавки на хлебопекарные свойства муки и теста при брожении / А. В. Маслов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 347–356. (На англ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2439

Introduction

Public health maintenance is a major strategic task that involves creating conditions for a balanced diet. The growth in non-infectious diet-related diseases is a cause of disability and lower life expectancy [1, 2]. Monitoring surveys among Russian children and adults show that their diets do not comply with the principles of healthy nutrition. In particular, they have high calorie and fat intakes and are low in proteins, vitamins, macro- and microelements, and fiber [3, 4].

This adds weight to the studies aiming to enhance the nutritional value of food products by enriching them with highly nutritional ingredients [5–9]. A balanced diet should contain enriched staple foods, such as bakery products, which are affordable for various population groups [10].

Bakers use various raw materials of plant origin to increase the nutritional value of products and enhance their functional properties [11–15]. Sprouted spelt, pumpkin seeds, oyster mushrooms, and gooseberries are some of the most promising raw materials in terms of their chemical composition and technological properties. In previous studies, we established an optimal ratio of these ingredients in a complex food additive and determined its effect on the rheological properties of wheat dough during kneading [16, 17].

Fermentation and proofing of dough pieces are important stages in the production of bakery products. During these stages, the dough loosens and accumulates those compounds which are responsible for the bread's taste and aroma during baking. The dough's loosening during fermentation depends on its rheological properties, namely its ability to expand and retain carbon dioxide produced under the action of yeast. Changes in the dough's rheological properties during fermentation affect its workability when cutting, shaping, and rounding. This way, they affect the quality of the finished product [18]. Of great importance is also the gas-forming ability of flour. It is determined by the content of sugars, the amylolytic activity of enzymes, and the degree of damage to starch granules [19, 20].

Enriching additives change the baking properties of flour and the intensity of dough fermentation. Therefore, these properties need to be evaluated when using non-traditional ingredients [12]. The amylolytic activity of flour can be determined by the falling number. This indicator indirectly assesses the viscosity of a gelatinized flour suspension by the speed of the lowering stirrer rod [21]. Alternatively, amylographs and viscometers are used to directly determine changes in viscosity over time during starch gelatinization by the magnitude of the torque [22].

Several methods are applied to assess the rheological properties of dough during fermentation. One of them determines the dynamic density of dough [23]. A maturograph (Brabender) is used to measure the volume of dough during proofing [24]. A rheofermentometer (Chopin Technologies) can assess the height of dough and the volume of gas released and retained during dough fermentation [25, 26]. In baking, it is mainly used to study the enzymatic activity of flour and yeast action, as well as the effect of technological additives, enzymes, or non-traditional ingredients on the process of dough fermentation [25]. In addition, a rheofermetometer can indirectly indicate the quality of complex gluten proteins [21].

We aimed to study the effect of a complex additive on the amylolytic activity and gas-forming ability of flour, as well as the dough's rising and gas-retaining ability during fermentation.

Study objects and methods

For this study, we used the following raw materials and ingredients:

1) premium wheat flour (Makfa, Russia), State Standard 26574-2017;

2) a complex additive consisting of whole wheat flour (Garnets, Russia), State Standard 26574-2017, crushed sprouted spelt, and powders of pumpkin seeds, oyster mushrooms, and gooseberries obtained in a vibrating dryer-mill in a ratio of 56.3:25.0:17.2:0.9:0.6, respectively [27]. The composition of the additive was based on the experiments reported in [16]. The additive was introduced into the flour at concentrations of 10, 16, and 22%;

3) pressed baking yeast (Saf-Neva, Russia), State Standard R 54731-2011; and

4) food-grade salt (Araltuz, Kazakhstan), State Standard R 51574-2018.

The amylolytic activity of the flour was determined by the viscosity of a water-flour suspension (80 g flour, 450 mL distilled water) during its gelatinization when heated according to State Standard ISO 7973-2013, using an amylograph-E (Brabender, Germany). Another indicator of the amylolytic activity was the falling number. It was determined by the Hagberg-Perten method on an IChP-1-2 apparatus (Dolgoprudnenskoe Research and Production Enterprise, Russia) according to State Standard ISO 3093-2016.

The flour's gas-forming ability and the dough's rising and gas-retaining ability were determined on an F4 rheofermentometer (Chopin Technologies, France). The dough samples were kneaded for 4 min in a U1-ETV-MT laboratory dough-maker for trial baking (Mototech, Russia) according to the formulations in Table 1. The moisture content in the finished wheat dough was 44%.

Rheofermentometer studies were conducted according to the AACC Standard 89-01 to measure yeast activity and gas production [28]. For this, 315 g dough samples were placed in the fermentation chamber, with a 2000 g load placed on top of them.

Table 1. Formulations for dough samples from premium wheat flour

Таблица 1. Рецептуры тестовых полуфабрикатов из пшеничной муки высшего сорта

Ingredients, g	Control	Concentrations of the additive to the weight of the flour mixture, %		
		10	16	22
Premium wheat flour grade	100	90	84	78
Complex additive	0	10	16	22
Pressed yeast	2,8	2,8	2,8	2,8
Food-grade salt	2	2	2	2
Water	as calculated	as calculated	as calculated	as calculated

The measurements were taken at 28.5°C for 180 min, namely:

1) the maximum dough height under load (H_m, mm);

2) the maximum dough height corresponding to the maximum volume (H'_m, mm);

3) the dough height at the end of the study (h, mm);

4) the dough falling coefficient (($H_m - h$) × 100/H_m, %);

5) the dough rise rate ($DS = H_m^{40\ min} - H_m^{10\ min}/30$);

6) the fermentation time needed to reach maximum height (T_1, min);

7) the fermentation time needed to reach maximum volume (T'_1, min);

8) the dough porosity time, or the time at which the dough begins to lose carbon dioxide (T_x, min);

9) the volume of carbon dioxide lost (V_1, mL);

10) the volume of carbon dioxide retained (V_2, mL);

11) the total volume of carbon dioxide produced (V_{1+2}, mL); and

12) the gas retention coefficient (V_1 × 100/V_{1+2}, %).

MS Excel was used for statistical analysis, equations of second degree polynomial regression, and reliable approximation R^2. Statistica 13 was used for correlation analysis.

Results and discussion

The baking properties of wheat flour largely depend on starch gelatinization and α-amylase activity. These indicators can be measured using an amylograph-E. This apparatus heats the water-flour suspension at 1.5°C/min, which is consistent with the heating rate of dough pieces in the oven [21]. Figure 1 shows the amylograms of a water-flour suspension made from premium wheat flour and containing a complex additive. Their analysis is presented in Figs. 2 and 3.

According to Fig. 1, the complex additive increased the gelatinization start temperature by an average of 0.8°C compared to the control, with a maximum reached by its concentration of 22%. However, higher concentrations of the additive decreased the gelatinization temperature and maximum viscosity. This is due to the amylolytic enzymes in sprouted spelt contained in the additive. The given changes corresponded to the second degree polynomial equations and were confirmed by the values of reliable approximation R^2 (Fig. 2).

Figure 3 shows the effect of the complex additive on the falling number of premium wheat flour and the time it took the water-flour suspension to reach maximum viscosity during heating.

We found that increased concentrations of the complex additive decreased the falling number and the time it took the water-flour suspension to reach maximum viscosity during heating. The correlation analysis showed a significant relationship between the falling number (Fig. 3) and the amylograph-E's measurements (Figs. 2 and 3) of gelatinization temperature ($r = 0.99$, $p = 0.007$), maximum viscosity ($r = 0.99$, $p = 0.007$), and the time of reaching maximum viscosity ($r = 0.99$, $p = 0.007$). The data indicated that the complex additive increased the enzymatic activity of wheat flour, which helps to reduce the time of dough fermentation and proofing.

The effects of the complex additive on the gas-forming ability of flour, as well as the rising and gas-retaining abilities of dough during fermentation are presented in Figs. 4–8.

The dough rise curves (Fig. 4) show a rapid increase in the dough height at the beginning of fermentation. This was due to the dough's ability to hold all the gas produced by the yeast. However, as fermentation continued, the dough rose more slowly until it reached its maximum height and stopped rising. During this process, only part of the gases was retained, while the rest was lost. Pores forming as a result of gas retention expanded and some of them were destroyed by increasing pressure, releasing some of the gases and preventing the dough rise [19].

The maximum dough height under load (H_m, mm) depends on the gluten framework and the dough's rheological properties, as well as correlates with the volume of the finished bread. This indicator characterizes the gas-forming ability of flour and the general structure of the matrix in the system. Higher H_m values mean that the combination of gas production and matrix structure is more conducive to dough volume maintenance compared to the system with lower H_m values. The more gas is retained in the dough, the higher the volume of the finished bread [20].

According to Figs. 4 and 5, introducing the complex additive into premium wheat flour increased the height

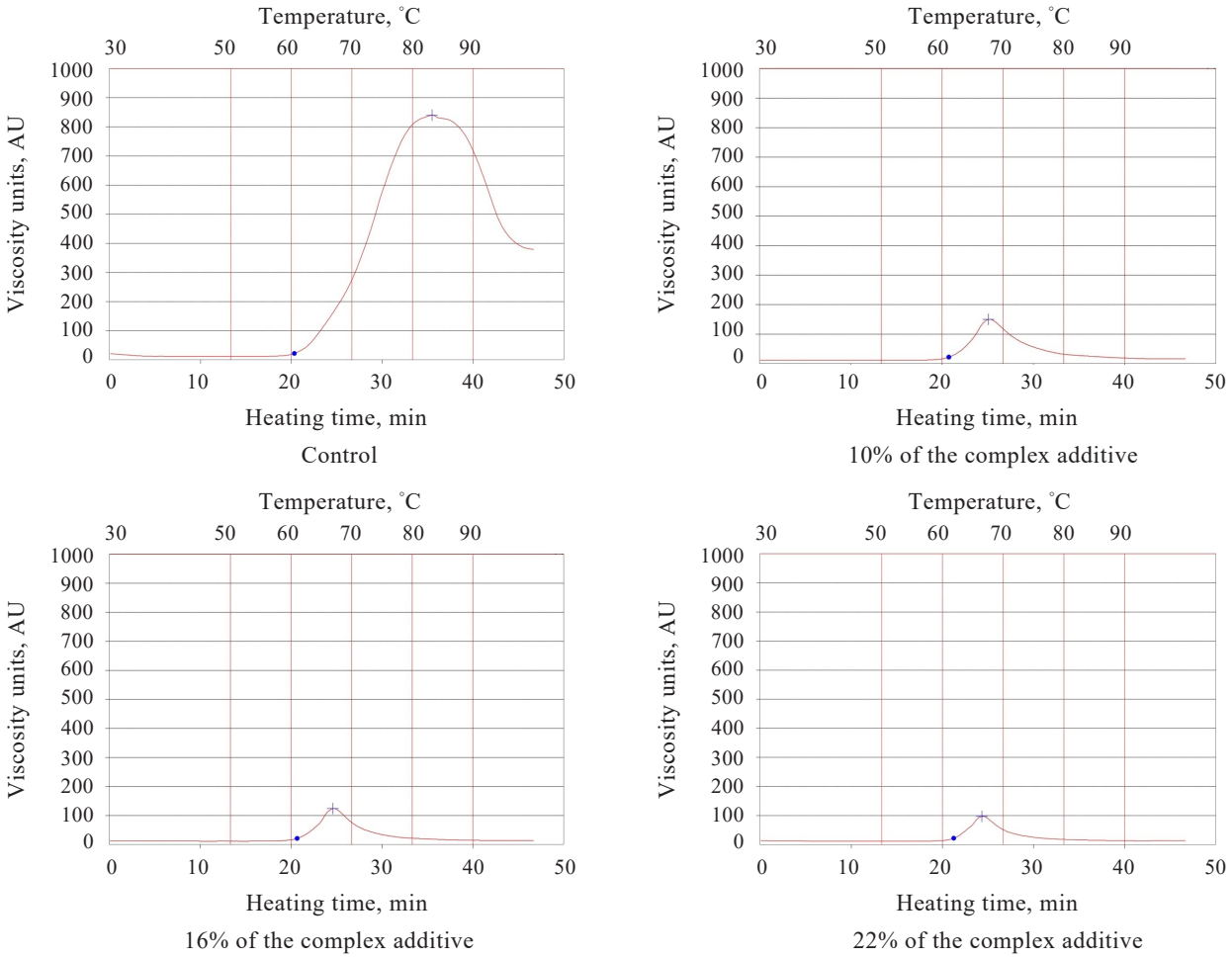


Figure 1. Amylograms of a water-flour suspension from premium wheat flour and the complex additive

Рисунок 1. Амилограммы водно-мучной суспензии из смеси муки пшеничной высшего сорта и пищевой комплексной добавки

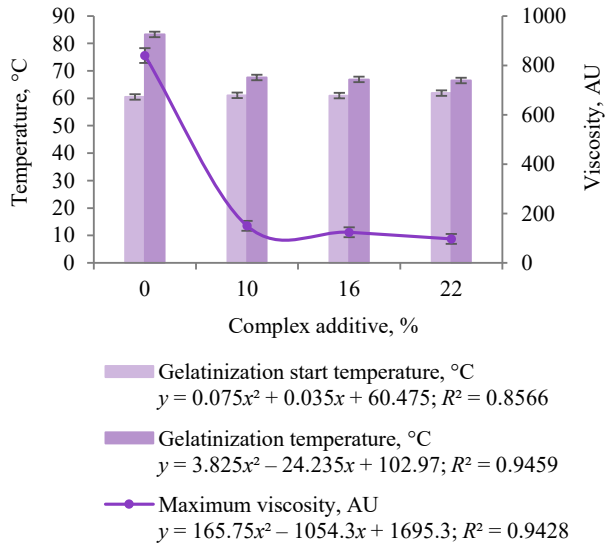


Figure 2. The effect of the complex additive on the gelatinization of a water-flour suspension

Рисунок 2. Влияние пищевой комплексной добавки на показатели клейстеризации водно-мучной суспензии

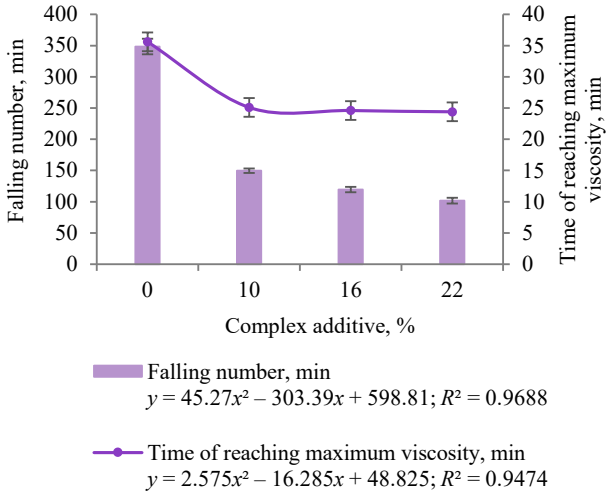


Figure 3. The effect of the complex additive on the falling number of premium wheat flour and the time of reaching maximum viscosity during heating

Рисунок 3. Влияние пищевой комплексной добавки на число падения и время до достижения максимальной вязкости водно-мучной суспензии при нагревании

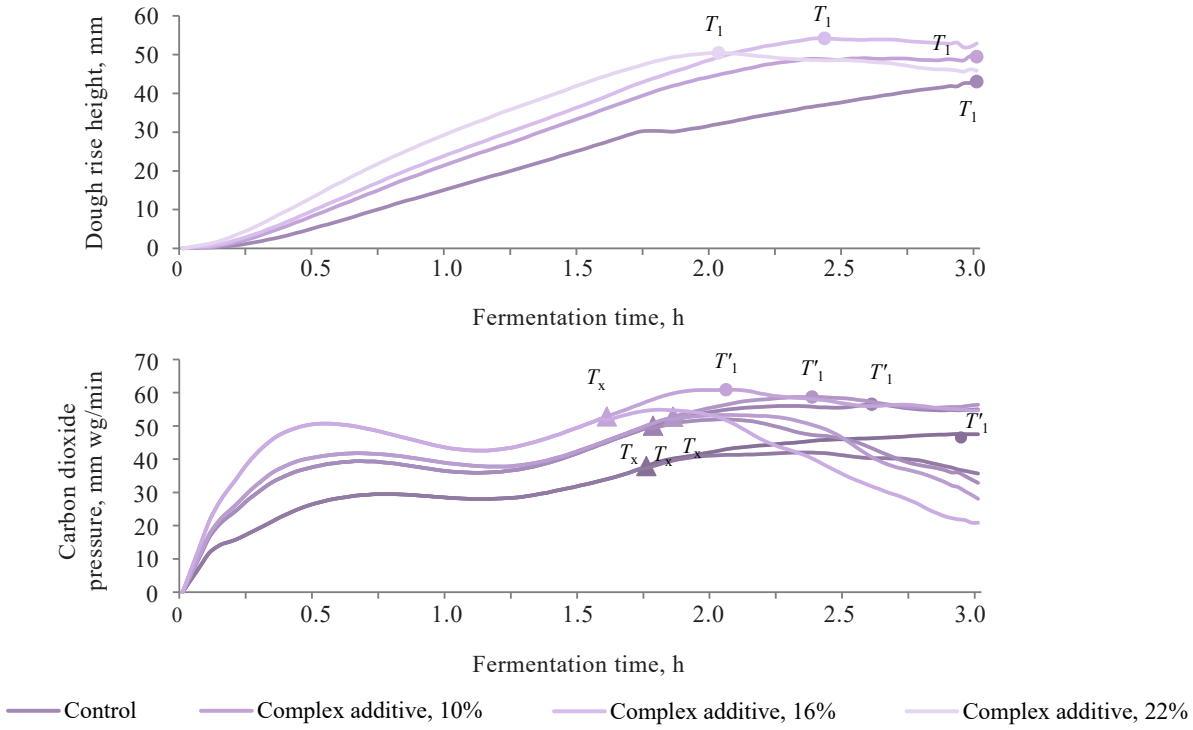


Figure 4. Effects of the complex additive on gas production, dough rise, and gas-retaining ability during fermentation

Рисунок 4. Влияние пищевой комплексной добавки на газообразующую способность пшеничной муки высшего сорта, динамику поднятия и газоудерживающую способность пшеничного теста

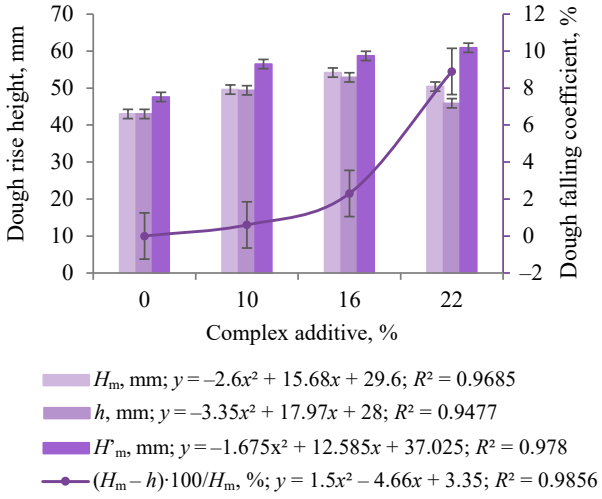


Figure 5. The effect of the complex additive on the wheat dough development

Рисунок 5. Влияние пищевой комплексной добавки на динамику поднятия пшеничного теста

of the dough samples by 6.6–11.2 mm compared to the control. The dough with 16% of the additive had the maximum height, which was 26.0% higher than the control. Noteworthily, the control sample reached its maximum height only at the end of the three-hour test, while the dough with 16% of the additive did it 36 min faster. The sample with 22% of the additive was fastest in reaching its maximum rise, namely 58.5 min –faster than the control.

As can be seen in Fig. 5, higher concentrations of the additive increased the maximum dough rise (consistent with the maximum volume) by an average of 23.3%, compared to the control. Further, the fermentation time required to reach the maximum volume was reduced by an average of 34.5 min, compared to the control dough without the additive.

The gas graphs (Fig. 4) show two peaks. The first peak indicates the gas produced by yeast during the fermentation of sugars in the flour mixture, while the second peak is characteristic of maltose fermentation. The test samples reached the first peak faster than the control. In particular, the sample with 22% of the additive reached the first peak faster than the other samples and 15 min faster than the control. Noteworthily, the amount of carbon dioxide released by the yeast at the first peak was higher compared to the control. In addition, the complex additive increased the dough rise rate during fermentation (Fig. 6).

We found that yeast cells were activated by the presence of the complex additive at the beginning of fermentation. As a result, they not only fermented flour sugars faster, but also released more carbon dioxide due to extra nutrients contained in the additive.

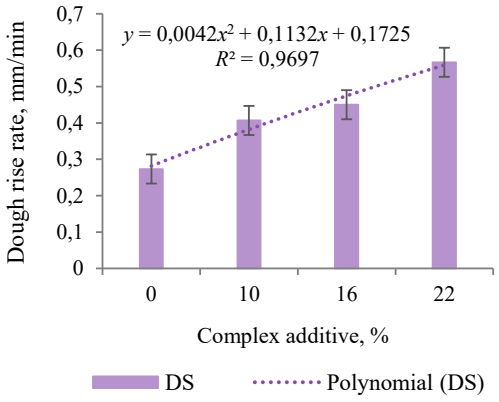


Figure 6. The effect of the complex additive on the dough rise rate

Рисунок 6. Влияние пищевой комплексной добавки на скорость подъема пшеничного теста

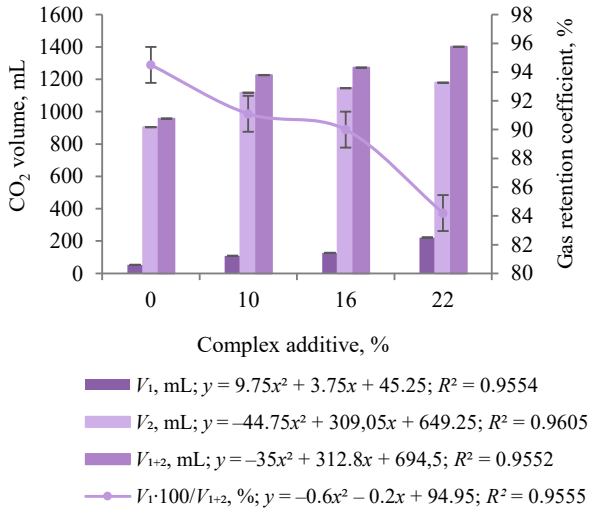


Figure 8. The effect of the complex additive on the dough's gas-retaining ability and the flour's gas-forming ability

Рисунок 8. Влияние пищевой комплексной добавки на газоудерживающую способность тестовых полуфабрикатов и газообразующую способность муки

The dough samples with 10 and 16% of the additive began to lose carbon dioxide (T_x) 1.5 and 6.0 min later than the control, respectively. However, the dough with 22% of the additive began to lose carbon dioxide 9.0 min earlier than the control (Fig. 7). This concentration probably had a stronger destructive effect on the protein-starch matrix of wheat dough compared to the other concentrations under study. These data were consistent with the results of our previous rheological studies on a farinograph. In particular, introducing 22% of the additive into the flour mixture significantly shortened the dough

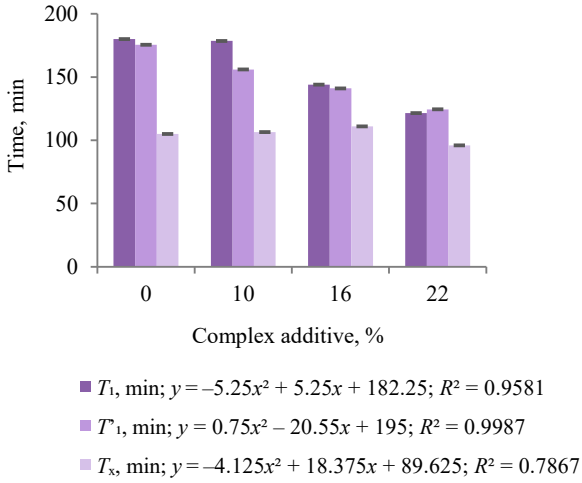


Figure 7. The effect of the complex additive on the wheat dough fermentation time

Рисунок 7. Влияние пищевой комплексной добавки на продолжительность брожения пшеничного теста

formation time compared to the control or the samples with other concentrations [16].

According to Fig. 8, higher concentrations of the complex additive increased the total volume of carbon dioxide by an average of 35.8% compared to the control. The volumes of lost and retained carbon dioxide were also higher by an average of 99.7 and 26.9%, respectively, compared to the control. Since more carbon dioxide was lost than retained, the gas retention coefficient decreased by 3.6–10.9% with higher concentrations of the additive. The high enzymatic activity of sprouted spelt contained in the additive might have negatively affected the gas-retaining ability. This is associated with higher dough permeability caused by the weakening of the protein–carbohydrate matrix during starch hydrolysis and peptide bonds in proteins [29]. Similar data were obtained for sprouted wheat [30].

The correlation analysis showed a significant statistical relationship ($p < 0.05$) between the concentration of the additive and the maximum dough height corresponding to the maximum volume ($r = 0.97$), the gas retention coefficient ($r = 0.98$), and the fermentation time until the maximum volume is reached ($r = 0.996$).

The readings of the rheofermetometer depended on the flour's enzymatic activity. In particular, we found reliable statistical negative correlations ($p < 0.05$) between the maximum dough height corresponding to the maximum volume and the gelatinization temperature ($r = –0.97$), maximum viscosity ($r = –0.97$), falling number ($r = –0.99$), and the time it takes to reach maximum viscosity ($r = –0.97$). The volume of carbon dioxide loss positively correlated ($p < 0.05$) with the gelatinization start temperature ($r = 0.99$), while

the volume of retained gas negatively correlated with the gelatinization temperature (r = –0.99), maximum viscosity (r = –0.99), falling number (r = –0.99), and the time it takes to reach maximum viscosity (r = –0.99). Also, the gas retention coefficient negatively correlated with the gelatinization start temperature (r = –0.99).

Using the data from our previous study [17], we performed a correlation analysis to establish the effect of flour mixtures and the dough's rheological parameters during kneading on the dough during fermentation. We found significant correlations ($p < 0.05$) between the maximum dough height corresponding to the maximum volume and the quality of wet gluten, water absorption (500 FE), moisture of flour mixtures, dough stability, farinograph quality number, and moisture of wet gluten (r = 0.98, 0.98, –0.99, –0.95, –0.95, and 0.96, respectively). There were also strong correlations ($p < 0.05$) between the volume of CO_2 retained by the dough and the above indicators (r = 0.99, 0.97, –1.0, –0.98, –0.98, and 0.96, respectively), as well as the degree of softening according to the ICC standard (r = 0.97). The total gas volume negatively correlated ($p < 0.05$) with the dough development time (r = –0.97) and positively correlated with the quality of wet gluten (r = 0.97) and water absorption (500 FE) (r = 0.95). The fermentation time needed to reach the maximum volume positively correlated ($p < 0.05$) with the dough formation time (r = 0.96). This indicated that the properties of dough during fermentation are determined by the baking properties of wheat flour and the rheological properties of dough during kneading.

Thus, taking into account the changes in dough rise, as well as the dough's gas-retaining ability and the flour's gas-forming ability, we selected an optimal concentration of the complex additive (16%) for premium wheat flour. This concentration ensured the maximum dough rise and the longest dough porosity time (when the dough starts to lose CO_2).

Conclusion

We studied the effects of the complex additive on the viscosity of a water-flour suspension during its gelatinization when heated, the flour's gas-forming ability, dough development, and the dough's gas-retaining ability during fermentation.

According to the results, the complex additive increased the enzymatic activity of wheat flour. In particular, it raised the gelatinization start temperature and lowered the temperature of complete gelatinization, maximum viscosity, the time needed to reach maximum viscosity, and the falling number, compared to the control. The correlation analysis showed a significant positive relationship between the falling number and the readings of the amylograph-E, namely the gelatinization temperature, maximum viscosity, and time needed to reach maximum viscosity (r = 0.99, $p < 0.05$).

The dough samples made with the complex additive were 8.4 mm higher than the control. Their fermentation time until they reached the maximum height decreased by an average of 17.8% compared to the control. Their maximum height corresponding to the maximum volume increased by an average of 23.3% compared to the control. The fermentation time it took the doughs to reach the maximum volume decreased by an average of 19.9% compared to the control.

The complex additive increased the total volume of carbon dioxide by an average of 35.8% compared to the control. The volumes of lost and retained carbon dioxide increased by an average of 99.7 and 26.9%, respectively. Larger amounts of the additive decreased the retention coefficient by 3.6–10.9% compared to the control sample.

We found that 16% was an optimal concentration of the complex additive introduced into premium wheat flour. This amount contributed to the maximum dough rise and the longest dough porosity time when the dough begins to lose carbon dioxide.

In practical terms, our results can be used in the production of bakery products from premium wheat flour fortified with 16% of the complex additive. In order to obtain high-quality products, the total time of fermentation and proofing should be reduced by 17.8% compared to the dough without the additive.

Further research is needed to study the effect of the complex additive on the structural and mechanical properties of dough during its development.

Contribution

A.V. Maslov reviewed literature, conducted experimental studies and data analysis, and edited the manuscript. T.A. Yamashev conducted experimental studies and data analysis. O.V. Starovoitova and Z.Sh. Mingaleeva developed the study concept, administered the research, analyzed experimental data, and edited the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Критерии авторства

А. В. Маслов – аналитический обзор источников информации, проведение экспериментальных исследований, анализ экспериментальных данных и корректировка рукописи. Т. А. Ямашев – проведение экспериментальных исследований и анализ экспериментальных данных. О. В. Старовойтова и З. Ш. Мингалеева – администрирование и разработка концепции исследования, анализ экспериментальных данных и корректировка рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References/Список литературы

1. Gorbachev DO. Hygienic assessment of risks to health of the working-age population due to nutrition. Public Health and Life Environment – PH&LE. 2019;318(9):33–39. (In Russ.). https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-318-9-33-39

2. Kobelkova IV, Martinchik AN, Kudryavtseva KV, Baturin AK. Diet pattern and health of working people. Problems of Nutrition. 2017;86(5):17–21. (In Russ.). [Режим питания в сохранении здоровья работающего населения / И. В. Кобелькова [и др.] // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 5. С. 17–21.]. https://www.elibrary.ru/ZWAWFP

3. Mayes C. Healthy eating policy: Racial liberalism, global connections and contested science. Food Ethics. 2023;8. https://doi.org/10.1007/s41055-022-00111-5

4. Neznakina YuS. The basic directions of satisfaction growth in food demands. Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, Sociological and Economic Sciences. 2017;(3):70–75. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2500-3372-2017-3-70-75

5. Savelyeva EV, Zinurova EE, Mingaleeva ZSh, Maslov AV, Starovoitova OV, Borisova SV, *et al.* The study of the possibility of using the additive of plant origin for improvement the quality of yeast and wheat bread. Journal of Environmental Treatment Techniques. 2019;7:1036–1040.

6. Gumerov TYu, Freze TYu, Gabdukaeva LZ. Ensuring safety during the work with mercury and its inorganic salts. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020;962. https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042033

7. Paucar-Menacho LM, Simpalo-Lopez WD, Castillo-Martinez WE, Esquivel-Paredes LJ, Martinez-Villaluenga C. Reformulating bread using sprouted pseudo-cereal grains to enhance its nutritional value and sensorial attributes. Foods. 2022;11(11). https://doi.org/10.3390/foods11111541

8. Gumerov TYu, Gabdukaeva LZ, Nurgalieva AR, Abrosimov IA. Determination of grain product safety by high-performance liquid chromatography. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022;954(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/954/1/012033

9. Maslov AV, Mingaleeva ZSh, Reshetnik OA. Mushroom powder application of oyster mushroom for activation of pressed baking yeast. Food Industry. 2020;5(4):38–44. (In Russ.). https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-4-6

10. Nikolaou EN, Karvela ED, Marini E, Panagopoulou EA, Chiou A, Karathanos VT. Enrichment of bakery products with different formulations of bioactive microconstituents from black Corinthian grape: Impact on physicochemical and rheological properties in dough matrix and final product. Journal of Cereal Science. 2022;108. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103566

11. Dubkova NZ, Kharkov VV, Vakhitov MR. Using Jerusalem artichoke powder in functional food production. Foods and Raw Materials. 2021;9(1):69–78. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-69-78

12. Immonen M, Wang Y, Coda R, Katina K, Maina NH. The role of dextran and maltosyl-isomalto-oligosaccharides on the structure of bread enriched with surplus bread. Food Hydrocolloids. 2022;133. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107944

13. Gumerov TYu, Gafarova IA, Mingaleeva ZSh, Reshetnik OA. The food safety and quality of food products. Life Safety. 2022;257(5):3–9. (In Russ.). [Безопасность и качество пищевых продуктов / Т. Ю. Гумеров [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 257. № 5. С. 3–9.]. https://www.elibrary.ru/SCYBVR

14. Savelyeva EV, Zinurova EE, Starovoitova OV, Reshetnik OA. Evaluation of naked eincorn grain and flour technological properties. Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2018;5(9):9289–9296. https://doi.org/10.5281/zenodo.1439308

15. Gumerov TYu, Mingaleeva ZSh, Reshetnik OA. Recipes development and evaluation of quality and safety indicators for cereal. Food Industry. 2022;7(1):70–81. (In Russ.). https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-1-9

16. 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

17. Maslov AV, Mingaleeva ZSh, Yamashev TA, Shibaeva NF. Effect of a complex plant additive on flour mixes and wheat dough. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(3):511–525. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385

18. Ktenioudaki A, Butler F, Gallagher E. Dough characteristics of Irish wheat varieties II. Aeration profile and baking quality. LWT – Food Science and Technology. 2011;44(3):602–610. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.015

19. Bykova NYu, Chernykh VYa. Influence of technological factors on the physical and chemical properties of rye dough and the parameters of its fermentation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022;1052. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1052/1/012026

20. Codina GG, Mironeasa S, Voica DV, Mironeasa C. Multivariate analysis of wheat flour dough sugars, gas production, and dough development at different fermentation times. Czech Journal of Food Sciences. 2013;31(3):222–229. https://doi.org/10.17221/216/2012-CJFS

21. Hadnadev TD, Pojic M, Hadnadev M, Torbica A. The role of empirical rheology in flour quality control. In: Akyar I, editor. Wide spectra of quality control. IntechOpen; 2011. pp. 335–360. https://doi.org/10.5772/24148

22. Ponomareva ML, Ponomarev SN. Optimization of grain quality parameters for winter rye breeding. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019;23(3):320–327. (In Russ.). https://doi.org/10.18699/VJ19.496

23. Albasir MOS, Alyassin M, Campbell GM. Development of bread dough by sheeting: Effects of sheeting regime, bran level and bran particle size. Foods. 2022;11(15). https://doi.org/10.3390/foods11152300

24. Immonen M, Maina NH, Coda R, Katina K. The molecular state of gelatinized starch in surplus bread affects bread recycling potential. LWT. 2021;150. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112071

25. Huang W, Kim Y, Li X, Rayas-Duarte P. Rheofermentometer parameters and bread specific volume of frozen sweet dough influenced by ingredients and dough mixing temperature. Journal of Cereal Science. 2008;48(3):639–646. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.02.008

26. Dremucheva GF, Nosova MV. The results of studies of the baking properties of wheat flour using a rheofermentometer. Storage and Processing of Farm Products. 2021;3:105–114. (In Russ.). https://doi.org/10.36107/spfp.2021.238

27. Kuznetsov MG, Dubkova NZ, Kharkov VV, Gumerova GH, Nikolaev AN. Study of power consumption in vibromixing apparatus during Jerusalem artichoke drying. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;640. https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/7/072006

28. Approved Methods of the AACC. 10th Edition. St. Paul: American Association of Cereal Chemists; 2000. 1200 p.

29. Sanz-Penella JM, Collar C, Haros M. Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. Journal of Cereal Science. 2008;48(3):715–721. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.03.006

30. Marti A, Cardone G, Pagani MA, Casiraghi MC. Flour from sprouted wheat as a new ingredient in bread-making. LWT. 2018;89:237–243. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.052

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2441
https://elibrary.ru/VWLLFL

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Влияние ультразвукового воздействия на свойства йота-каррагинана и гуаровой камеди

К. Н. Нициевская, С. В. Станкевич, Е. В. Бородай*

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

Поступила в редакцию: 06.09.2022
Принята после рецензирования: 29.01.2023
Принята к публикации: 07.02.2023

**Е. В. Бородай: borodajelena@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4350-085X*
К. Н. Нициевская: https://orcid.org/0000-0002-7302-106X
С. В. Станкевич: https://orcid.org/0000-0002-5157-2004

© К. Н. Нициевская, С. В. Станкевич, Е. В. Бородай, 2023

Аннотация.
Применение гидроколлоидов в пищевой промышленности позволяет создавать низкокалорийные продукты с сохранением структурных характеристик традиционных аналогов. С целью моделирования вязкости текстуры и стабилизации пищевых систем также применяют электрофизические методы. Влияние ультразвукового воздействия на стабилизацию пищевой системы в состоянии геля не изучено. Целью исследования являлось изучение влияния обработки гидроколлоидов (полисахаридов) ультразвуком для дальнейшего использования при производстве пищевых продуктов (мясных и рыбных студней, желейного мармелада, пастилы, зефира, желе, пудингов, мороженого и т. д.) со стабильной текстурой. Объектами исследования являлись образцы коллоидных систем на основе пищевого гидроколлоида (йота-каррагинана или гуаровой камеди) и очищенной воды в соотношении 1:100. Образцы подвергались ультразвуковому воздействию при различном диапазоне времени и pH. Стандартными методами определяли вязкость, активную кислотность, температуру и прозрачность (коэффициент пропускания, Т, %) полученных коллоидных систем. Для анализа органолептических свойств применяли дескрипторно-профильный метод.
Изучили поведение гидроколлоидов под воздействием ультразвука при разных значениях pH среды (3,9, 7,0 и 9,0). Коллоидная система с йота-каррагинаном имела следующие показатели: вязкость при нейтральном pH – 47,6 мПа·с, при кислом pH – 45,7 мПа·с, при щелочном pH – 22,3 мПа·с. Вязкость гидроколлоидной системы с гуаровой камедью зависела от pH среды: в нейтральной среде снижалась в процессе обработки с 119,0 до 64,8 мПа·с, в кислой – не менялась и была в пределах 3,5 ± 0,2 мПа·с, в щелочной – незначительно увеличилась и составила 6,52 мПа·с. Максимальная температура коллоидной системы составила 46,5 °С в нейтральной среде.
При исследовании влияния ультразвука на свойства гидроколлоидов система с йота-каррагинаном показала лучший результат при кислотности среды в пределах 3,9–6,0 е.д. для получения текучей гелеобразной структуры. В качестве желирующего агента для получения продукции рекомендовано применение йота-каррагинана после воздействия ультразвука. Вязкость продукта с гуаровой камедью при использовании ультразвука будет снижаться, а необходимая структура не будет достигнута.

Ключевые слова. Пищевые системы, ультразвук, гидроколлоиды, полисахариды, структурообразователи, стабильность структуры, кислотность, вязкость

Для цитирования: Нициевская К. Н., Станкевич С. В., Бородай Е. В. Влияние ультразвукового воздействия на свойства йота-каррагинана и гуаровой камеди // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 357–367. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2441

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2441
https://elibrary.ru/VWLLFL

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Ultrasound Treatment of Iota-Carrageenan and Guar Gum

Kseniya N. Nitsievskaya, Svetlana V. Stankevich, Elena V. Boroday*

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

Received: 06.09.2022
Revised: 29.01.2023
Accepted: 07.02.2023

**Elena V. Boroday: borodajelena@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4350-085X*
Kseniya N. Nitsievskaya: https://orcid.org/0000-0002-7302-106X
Svetlana V. Stankevich: https://orcid.org/0000-0002-5157-2004

© K.N. Nitsievskaya, S.V. Stankevich, E.V. Boroday, 2023

Abstract.
Hydrocolloids make it possible to produce low-calorie analogues of traditional foods that maintain the original structural properties. Electrophysical methods control viscosity and stabilize food systems. However, the stabilizing effect of ultrasonic treatment on gel remains understudied. The research featured the effect of ultrasonic treatment on hydrocolloids (polysaccharides) used in meat or fish jelly, marmalades, marshmallows, puddings, ice cream, etc.
The study involved samples of colloidal systems based on iota-carrageenan or guar gum and purified water (1:100). The samples underwent ultrasonic treatment at various time and pH ranges. The viscosity, active acidity, temperature, and transparency (transmission coefficient, T, %) of the obtained colloidal systems were determined using standard methods, while the sensory profile was defined by the descriptor-profile method.
Hydrocolloids were subjected to ultrasound at pH 3.9, 7.0, and 9.0. The colloidal viscosity of the iota-carrageenan sample was 47.6 mPa·s at neutral pH, 45.7 mPa·s at acidic pH, and 22.3 mPa·s at alkaline pH. The viscosity of the hydrocolloid system with guar gum depended on the pH of the medium: it decreased during processing from 119.0 to 64.8 mPa·s in the neutral medium but remained the same (3.5 ± 0.2 mPa·s) in the acid medium and reached 6.52 mPa·s in the alkaline medium. The maximum temperature of the colloidal system was 46.5°C in a neutral medium.
The system with iota-carrageenan showed the best result at medium acidity in the range of 3.9–6.0 units and produced a fluid gel-like structure. Sonicated iota-carrageenan could be recommended as a gelling agent. Guar gum viscosity, on the contrary, lost its viscosity and failed to produce the desired structure.

Keywords. Food systems, ultrasound, hydrocolloids, polysaccharides, thickeners, structure's stability, acidity, viscosity

For citation: Nitsievskaya KN, Stankevich SV, Boroday EV. Ultrasound Treatment of Iota-Carrageenan and Guar Gum. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):357–367. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2441

Введение

В различных отраслях промышленности используются гидроколлоиды, к которым относят полисахариды и протеины. На производстве их применяют в качестве загустителей и студнеобразователей водных растворов, стабилизаторов пен, эмульсий и суспензий, регуляторов аромата и пр. [1–6].

Гидроколлоиды представляют собой группу пищевых ингредиентов, которые с 1978 г. определены в отдельную категорию. Основанием для этого являются общие свойства, проявляемые для создания пищевой системы. Роль гидроколлоидов в пищевых системах сводится не только к выполнению технологических функций. Гидроколлоиды являются физиологически функциональными ингредиентами (пищевыми волокнами), которые способствуют снижению уровня холестерина в крови и помогают нормальному функционированию кишечника, проявляя пребиотический эффект или другие позитивные для здоровья человека свойства [7, 8].

Благодаря свойствам гидроколлоидов стало возможным создание низкокалорийных продуктов, сохраняющих органолептические характеристики традиционных аналогов. Традиционно желированные десерты производятся с использованием пищевого желатина, молока или сливок, сахара и ванилина. Для вегетарианцев и потребителей халяльных и кошерных продуктов проблема замены желатина на пищевые гидроколлоиды существует уже много лет [8–10]. Интерес к этой проблеме возрос по всему миру из-за появления вируса губчатой энцефалопатии крупного рогатого скота [12].

Гидроколлоиды широко используются при изготовлении многих продуктов питания с целью

улучшения их качественных характеристик и срока годности. Одним из основных свойств гидроколлоидов является их способность к студнеобразованию. Гидроколлоиды образуют гели путем физических связей их полимерных цепей посредством соединения водорода, гидрофобной ассоциации и катионного сшивания. Именно из-за этого гидроколлоидные гели часто называют «физическими гелями» [13–15]. Механизм и получающиеся в результате надмолекулярные структуры, формирующие макроскопическим образом систему и стабильную сеть желированного изделия, важны для полисахаридно-белковых систем [16, 17].

Новые технологии делают возможным производство ионных, неионных и амфотерных гуаровых продуктов, которые при растворении в воде образуют прозрачные растворы даже при степени замещения 0,1 [18].

Источником гуаровой камеди служат гуаровые бобы. По химическому составу гуара подобна камеди рожкового дерева (пищевая добавка Е410). Гуаровая камедь является полимерным соединением, содержащим остатки галактозы, а также обладает жесткостью и повышенной эластичностью, хорошо растворима в воде. Благодаря этим свойствам гуаровая камедь является эффективным эмульгатором и стабилизатором. При циклах замораживания и разморозки продуктов гуаровая камедь отличается хорошей устойчивостью, а также замедляет возникновение кристаллов льда, образуя структурированный гель.

Камеди являются сложными высокомолекулярными углеводами, не входящими в состав клеточной оболочки растений. В кишечнике они способны связывать соли тяжелых металлов и холестерин. Согласно данным ботанико-фармакогностического словаря камеди – это продукты, выделяющиеся из надрезов и трещин растений или получаемые в результате их промышленной переработки, а также препараты на основе полисахаридов, продуцируемых некоторыми видами микроорганизмов [19, 20].

Химический состав камедей не однороден: они относятся к гетерополисахаридам (гексозаны, пентазаны и полиуроноиды). Гуаровая камедь хорошо диспергирует и набухает в холодной и горячей воде с образованием вязких коллоидных растворов. Высокая растворимость гуара объясняется наличием в составе молекул часто чередующихся участков с боковыми цепями [21].

К гидроколлоидам также относятся сульфатированные полисахариды – это галактаны, в частности каррагинаны, которые не имеют аналогов среди других растительных полисахаридов и содержатся в красных морских водорослях [22]. Основой этих полимеров является галактоза, различаются они пропорциональным соотношением и местом расположения этерифицированных сульфатных групп, а также количеством 3,6-ангидрогалактозы. Различия в составе и особенности конфигурационного строения приводят к наличию целого ряда разных реологических свойств, которые используются в разнообразных продуктах [23, 24].

Каррагинаны могут выступать в роли вязких загустителей и гелеобразователей, образующих термообратимые гели, текстура которых варьируется от мягкой и эластичной до жесткой и хрупкой. Данные гидроколлоиды обладают способностью вступать в синергические взаимодействия с камедями, что ведет к дальнейшему изменению текстуры геля. Специфическое взаимодействие каррагинанов широко используется для стабилизации молочных продуктов [25, 26].

Каррагинаны растворяются только в горячей воде (70–80 °С), а также в растворе с натрием, но в таких растворах они не образуют гелей. После растворения и последующего охлаждения каррагинаны дают твердые термообратимые гели с высокой прочностью студня (около 1000 гр/см^2 при концентрации раствора 1,5 %, t = 20 °С) [27]. Точка гелеобразования равна 35–50 °С, но зависит от концентрации и присутствия катионов (ионов калия, натрия, кальция, аммония). Концентрация этих катионов определяет силу геля и может воздействовать на величину этого параметра. Кроме того, прочные твердые гели каррагинана проявляют синерезис, который может быть уменьшен при добавлении других фракций каррагинана. Например, йота-каррагинан, который образует менее прочные гели, чем каппа, но более эластичные. Эти гели термообратимы и не проявляют синерезис. Более того, растворы йота-каррагинана обладают тиксотропными свойствами, которые проявляются в разжижении при интенсивном встряхивании или перемешивании гелей, паст, суспензий и других систем с коагуляционной дисперсной структурой и их загущении (отвердевании) после прекращения механического воздействия. Это уникальное свойство дает возможность растворам йота-каррагинана противостоять воздействиям на физическую структуру и возвращаться к первоначальному значению вязкости даже после повторения механического воздействия снова и до получения необходимого конечного продукта. По этой причине йота-каррагинан используется в качестве стабилизатора суспензий. Также йота-каррагинан проявляет хорошую стабильность при последовательных циклах замораживание – оттаивание [28, 29].

Гидроколлоиды добавляются для формирования системы с целью моделирования вязкости текстуры и стабилизации пищевых дисперсных систем в целом. Однако набирает популярность использование электрофизических методов воздействия в качестве вида технологической обработки. Влияние ультразвука на вязкость и кислотность системы отдельных гидроколлоидов не изучено [30, 31].

Современная пищевая промышленность постоянно стремится к поиску и созданию качественных и безопасных продуктов. Плюсами воздействия ультразвука как метода технологической обработки являются низкая стоимость и экологический характер с различной областью применения. Например, для гомогенизации [32].

Целью данного исследования являлась обработка гидроколлоидов различной природы воздействием ультразвука в присутствии водного растворителя различного диапазона pH для дальнейшего использования при получении пищевой продукции.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выступали образуемые системы с гидроколлоидами, представляющие собой полисахариды растительного происхождения – индивидуально.

Для изготовления изучаемых систем были использовали следующие коммерческие образцы пищевых гидроколлоидов:

– йота-каррагинан (Molecularmeal, Россия) – пищевая добавка Е407;

– гуаровая камедь (Мастер Слим, Россия) – пищевая добавка Е412.

В качестве среды для растворения (растворителя) изучаемых полисахаридов и уменьшения погрешности исследований применяли очищенную воду в диапазоне pH 3,9–9,0 при температуре 20,0 ± 2,0 °C. Кислотность водной среды регулировали с использованием 0,1Н раствора соляной кислоты до pH = 3,9 и 0,1Н гидроокиси натрия до pH = 9,0.

При ультразвуковой обработке гидроколлиодов готовили навески весом в 4 г и растворителя (400 мл), которые помещали в ультразвуковую систему марки QUICK218-35D (Россия). Ультразвук применяли в непрерывном режиме с частотой 40 кГц и мощностью 60 Вт в условиях постепенного нагрева образцов при температуре 55,0 ± 2,0 °C в течение 30 мин. Пробы отбирали через равные промежутки времени в интервале 5 мин, начиная с 10 мин обработки.

Для дальнейших исследований использовали кодировку образцов с гуаровой камедью и йота-каррагинаном, представленную в таблице 1.

Сначала изучали вязкость и активную кислотность без применения ультразвука, а затем оценивали влияние ультразвуковой обработки на изменение параметров. Активную кислотность pH определяли ионометрическим методом с использованием pH-метра марки Нитрон (Россия), который был откалиброван по стандартным показателям буфера pH с погрешностью измерений ± 0,05 е.д. Измерения проводили в диапазоне температуры t = 21,0 ± 1,0 °C. Температуру замеряли термометром Testo 905-T1 (Германия) с погрешностью измерений ± 0,5 °C. Проводили исследования для установления термообратимых свойств полученных коллоидных систем. Коллоидные системы подвергали охлаждению до температуры t = 4,0 ± 0,5 °C в течение 12 ч. Далее проводили анализ вязкости

Таблица 1. Кодировка образцов гидроколлоидных систем с гуаровой камедью и йота-каррагинаном

Table 1. Hydrocolloid systems with guar gum and iota-carrageenan: sample coding

Код образца	Водная среда с гуаровой камедью	Код образца	Водная среда с йота-каррагинаном
pH = 7,0			
К.0	Без обработки ультразвуком	Й-К.0	Без обработки ультразвуком
К.10	Обработка ультразвуком 10 мин	Й-К.10	Обработка ультразвуком 10 мин
К.15	Обработка ультразвуком 15 мин	Й-К.15	Обработка ультразвуком 15 мин
К.20	Обработка ультразвуком 20 мин	Й-К.20	Обработка ультразвуком 20 мин
К.25	Обработка ультразвуком 25 мин	Й-К.25	Обработка ультразвуком 25 мин
К.30	Обработка ультразвуком 30 мин	Й-К.30	Обработка ультразвуком 30 мин
pH = 3,9			
К.К.0	Без обработки ультразвуком	Й-К.К.0	Без обработки ультразвуком
К.К.10	Обработка ультразвуком 10 мин	Й-К.К.10	Обработка ультразвуком 10 мин
К.К.15	Обработка ультразвуком 15 мин	Й-К.К.15	Обработка ультразвуком 15 мин
К.К.20	Обработка ультразвуком 20 мин	Й-К.К.20	Обработка ультразвуком 20 мин
К.К.25	Обработка ультразвуком 25 мин	Й-К.К.25	Обработка ультразвуком 25 мин
К.К.30	Обработка ультразвуком 30 мин	Й-К.К.30	Обработка ультразвуком 30 мин
pH = 9,0			
К.Щ.0	Без обработки ультразвуком	Й-К.Щ.0	Без обработки ультразвуком
К.Щ.10	Обработка ультразвуком 10 мин	Й-К.Щ.10	Обработка ультразвуком 10 мин
К.Щ.15	Обработка ультразвуком 15 мин	Й-К.Щ.15	Обработка ультразвуком 15 мин
К.Щ.20	Обработка ультразвуком 20 мин	Й-К.Щ.20	Обработка ультразвуком 20 мин
К.Щ.25	Обработка ультразвуком 25 мин	Й-К.Щ.25	Обработка ультразвуком 25 мин
К.Щ.30	Обработка ультразвуком 30 мин	Й-К.Щ.30	Обработка ультразвуком 30 мин

(мПа·с) на вибровискозиметре серии SV-1A (Япония), откалиброванном по методике исследований с погрешностью измерений ± 0,3 мПа·с. Математическую обработку данных с использованием регрессионного анализа проводили с помощью программы Statistica 12.

Прозрачность образцов проверяли посредством измерения коэффициента пропускания (Т, %) с использованием спектрометрии с помощью прибора КФК-2 при длине волны 540 нм в кювете со слоем толщиной 10 мм (выбор данной длины волны объясняется чувствительностью к свету человеческим глазом в зеленой части спектра). В качестве эталонного раствора использовали очищенную воду.

Для органолептического анализа применяли дескрипторно-профильный метод при сравнении образцов между собой с учетом стандартной терминологии и методик по ГОСТ ISO 5492-2014, ГОСТ ISO 6658-2016, ГОСТ ISO 8587-2015, ГОСТ ISO 8586-2015, ГОСТ ISO 11036-2017 и ГОСТ ISO 13299-2015.

Результаты и их обсуждение

Исследование водных сред с полисахаридами первоначально проводили без обработки ультразвуковыми воздействиями. Полученные данные были приняты как контрольные для дальнейшего исследования кинетики обработки. Коллоидные системы ведут себя как неньютоновская жидкость, вязкость которой зависит от напряжения сдвига, температуры и ультразвука.

Растворение гидроколлоидов проводили в различных водных средах при разном диапазоне pH и температуре 20,0 ± 2,0 °С. Повышенная вязкость наблюдалась в контрольном образце с гуаровой камедью при использовании нейтральной pH.

В качестве контрольного образца были получены гидроколлоидные системы:

1. С нейтральной pH (7,0):

– водная среда с йота-каррагинаном (Й-К.0) имела вид прозрачной жидкости без осадка, текстура жидкая, запах отсутствует, pH = 7,88 (t = 22,5 °С), вязкость 7,88 мПа·с (t = 16,7 °С), Т = 98,0 %;

– водная среда с гуаровой камедью (К.0) имела вид белой непрозрачной жидкости со взвесью пузырьков воздуха, текстура плотная, запах сладковатый, pH = 6,24 (t = 20,0 °С), вязкость 119,0 мПа·с (t = 16,8 °С), Т = 7,0 %;

2. С кислой pH (3,9):

– водная среда с йота-каррагинаном (Й-К.К.10–Й-К.К.30) имела вид прозрачной жидкости без осадка, текстура жидкая, запах отсутствует, pH = 7,44 (t = 29,4 °С), вязкость 27,2 мПа·с (t = 12,3 °С), Т = 97,0 %;

– водная среда с гуаровой камедью (К.К.10–К.К.30) имела вид белой непрозрачной жидкости со взвесью пузырьков воздуха, текстура плотная, запах сладковатый, pH = 5,36 (t = 28,8 °С), вязкость 3,16 мПа·с (t = 12,0 °С), Т = 8,0 %;

3. С щелочной pH (9,0):

– водная среда с йота-каррагинаном (Й-К.Щ.10–Й-К.Щ.30) имела вид прозрачной жидкости без осадка, текстура жидкая, запах отсутствует, pH = 9,01 (t = 29,7 °С), вязкость 8,29 мПа·с (t = 13,0 °С), Т = 97,0 %;

– водная среда с гуаровой камедью (К.Щ.10–К.Щ.30) имела вид белой непрозрачной жидкости со взвесью пузырьков воздуха, текстура плотная, запах сладковатый, pH = 7,46 (t = 29,3 °С), вязкость 6,40 мПа·с (t = 14,3 °С), Т = 8,5 %.

Дальнейшие исследования включали обработку исследуемых гидроколлоидных систем под влиянием ультразвукового оборудования в среде с нейтральной pH (табл. 2).

При анализе системы йота-каррагинана с нейтральной pH наблюдали постепенное повышение температуры в процессе ультразвуковой обработки. Кислотность находилась в пределах диапазона щелочной среды и равнялась 8 ± 0,05 е.д., пенообразование не наблюдалось. Результаты регрессионного анализа зависимости активной кислотности от продолжительности обработки имели вид уравнения (1):

$$y = 0{,}13x + 7{,}91,\ R^2 = 0{,}75 \qquad (1)$$

Водная среда имела вид прозрачной жидкости без осадка, текстура при температуре обработки t = 31,2–46,5 °С. Коэффициент пропускания (Т, %) снижался при обработке. При дальнейшем охлаждении

Таблица 2. Результаты измерения параметров водной среды с йота-каррагинаном с нейтральной pH (pH = 7,0) при $P \leq 0{,}95$

Table 2. Parameters of aqueous iota-carrageenan with neutral pH (pH = 7.0) at $P \leq 0.95$

Наименование показателя	Наименование образцов				
	Й-К.10	Й-К.15	Й-К.20	Й-К.25	Й-К.30
Коэффициент пропускания, %	98,0	96,0	96,0	95,5	95,5
t, °С	31,2	35,2	38,5	41,4	46,5
pH, е.д.	8,18	8,53	8,52	8,55	8,58
Вязкость, мПа·с	43,8	50,7	49,0	48,3	47,6

до температуры t = 4,0 ± 0,5 °C продукт приобретал гелеобразную устойчивую структуру с вязкостью 49,0 мПа·с. Было отмечено увеличение данного показателя при продолжительности обработки до 15 мин, затем система теряла вязкость в 3,1 е.д. с учетом погрешности измерений аппарата 0,3 мПа·с. Результаты регрессионного анализа зависимости вязкости от продолжительности обработки имели вид уравнения (2):

$$y = 6{,}01x + 20{,}17,\ R^2 = 0{,}50 \quad (2)$$

Аналогичные исследования проводились с водной средой с гуаровой камедью при pH = 7,0. Данные сведены в таблицу 3.

Система с гуаровой камедью при анализе контрольного образца и ее дальнейшее изменение под действием ультразвука в водной среде с нейтральной pH представлена в виде изменения показателя «вязкость» и органолептических характеристик. Растворение гуаровой камеди в воде при температуре 55 °C было невозможно, а при температуре 25 °C требовало больше времени для суспендирования в сравнении с йота-каррагинаном. Изначально система с исследуемым полисахаридом имела вид плотного геля. При воздействии ультразвука отметили изменение цвета с белого до светло-белого, потерю текстурой плотности и образование комковатости в коллоидной системе. Исследования коэффициента пропускания указывают на повышение показателя с увеличением обработки, что меняет водную среду. Результаты регрессионного анализа зависимости активной кислотности от продолжительности обработки имели вид уравнения (3):

$$y = -0{,}033x + 6{,}29,\ R^2 = 0{,}88 \quad (3)$$

Описательная характеристика подтверждена исследованиями вязкости продукта, а именно ее снижением до 64,8 мПа·с, т. е. на 30,5 % при pH 6,10 е.д. Уравнение регрессии имело вид (4):

$$y = -10{,}22x + 119{,}92,\ R^2 = 0{,}89 \quad (4)$$

Дальнейшие исследования включали обработку исследуемых систем под влиянием ультразвукового оборудования в кислой среде с применением йота-каррагинана (табл. 4) и гуаровой камеди (табл. 5).

Обработка йота-каррагинана в кислой среде началась с образования сгустков в системе. При воздействии ультразвука система приобрела однородную текстуру.

При анализе системы в кислой среде с йота-каррагинаном наблюдали увеличение температуры при продолжительности обработки. Изменения pH находились в пределах диапазона щелочной среды и составили 8,00 ± 0,05 е.д., что аналогично при разведении в нейтральной среде pH. Результаты регрессионного анализа зависимости активной кислотности от продолжительности обработки имели вид уравнения (5):

$$y = 0{,}24x + 7{,}35,\ R^2 = 0{,}86 \quad (5)$$

Гидроколлоидная система имела вид прозрачной жидкости без осадка, при температуре обработки t = 46,5 ± 1,0 °C. При дальнейшем охлаждении до температуры t = 4,0 ± 0,5 °C исследуемый продукт приобретал структуру с коэффициентом пропускания от 96,5 до 94,5 % и вязкостью 45,7 ± 0,3 мПа·с при достижении максимально заявленной обработки в течение 30 мин. Уравнение регрессии имело вид (6):

$$y = 3{,}25x + 26{,}71,\ R^2 = 0{,}89 \quad (6)$$

В процессе ультразвуковой обработки водной среды с гуаровой камедью температура увеличивалась до 45,9 °C, pH находилась в пределах диапазона 5,7 е.д. (с учетом погрешности 0,05), пенообразование не наблюдалось. Уравнение регрессии имело вид (7):

$$y = 0{,}043x + 5{,}50,\ R^2 = 0{,}50 \quad (7)$$

Система имела вид непрозрачной жидкости, плохо растворимой в используемой среде с образованием сгустка, при температуре обработки t = 45,9 °C. Изменился коэффициент пропускания: с 12,0 до 29,0 %. При дальнейшем охлаждении до температуры t = 4,0 ± 0,5 °C продукт сохранил

Таблица 3. Результаты измерения параметров водной среды с гуаровой камедью с нейтральной pH (pH = 7,0) при $P \leq 0{,}95$

Table 3. Parameters of aqueous guar gum with neutral pH (pH = 7.0) at $P \leq 0.95$

Наименование показателя	Наименование образцов				
	К.10	К.15	К.20	К.25	К.30
Коэффициент пропускания, %	11,0	15,0	16,0	16,0	16,5
t, °C	27,3	36,0	45,5	52,0	52,5
pH, е.д.	6,24	6,21	6,12	6,12	6,10
Вязкость, мПа·с	93,2	83,7	78,0	66,2	64,8

Таблица 4. Результаты измерения параметров водной среды с йота-каррагинаном с кислой pH (pH = 3,9) при $P \leq 0,95$

Table 4. Parameters of aqueous iota-carrageenan with acidic pH (pH = 3.9) at $P \leq 0.95$

Наименование показателя	Наименование образцов				
	Й-К.К.10	Й-К.К.15	Й-К.К.20	Й-К.К.25	Й-К.К.30
Коэффициент пропускания, %	96,5	96,0	96,0	96,0	94,5
t, °C	39,4	42,2	44,9	44,7	45,6
pH, е.д.	7,74	8,35	8,49	8,54	8,62
Вязкость, мПа·с	34,5	39,5	40,3	41,3	45,7

Таблица 5. Результаты измерения параметров водной среды с гуаровой камедью с кислой pH (pH = 3,9) при $P \leq 0,95$

Table 5. Parameters of aqueous guar gum with acidic pH (pH = 3.9) at $P \leq 0.95$

Наименование показателя	Наименование образцов				
	К.К.10	К.К.15	К.К.20	К.К.25	К.К.30
Коэффициент пропускания, %	12,0	12,5	18,0	29,0	29,0
t, °C	40,8	42,3	44,1	44,9	45,9
pH, е.д.	5,72	5,74	5,73	5,70	5,71
Вязкость, мПа·с	3,44	3,47	3,67	3,67	3,73

Таблица 6. Результаты измерения параметров водной среды с йота-каррагинаном с щелочной pH (pH = 9,0) при $P \leq 0,95$

Table 6. Parameters of aqueous iota-carrageenan with alkaline pH (pH = 9.0) at $P \leq 0.95$

Наименование показателя	Наименование образцов				
	Й-К.Щ.10	Й-К.Щ.15	Й-К.Щ.20	Й-К.Щ.25	Й-К.Щ.30
Коэффициент пропускания, %	97,0	95,0	95,0	95,0	95,0
t, °C	38,8	40,1	40,4	43,0	42,4
pH, е.д.	9,02	8,98	8,90	8,96	8,88
Вязкость, мПа·с	15,3	17,4	17,0	19,4	22,3

Таблица 7. Результаты измерения параметров водной среды с гуаровой камедью с щелочной pH (pH = 9,0) при $P \leq 0,95$

Table 7. Parameters of aqueous guar gum with alkaline pH (pH = 9.0) at $P \leq 0.95$

Наименование показателя	Наименование образцов				
	К.Щ.10	К.Щ.15	К.Щ.20	К.Щ.25	К.Щ.30
Коэффициент пропускания, %	9,0	10,0	10,0	11,5	11,5
t, °C	37,4	40,1	41,3	42,6	44,0
pH, е.д.	7,37	7,23	7,12	7,13	7,12
Вязкость, мПа·с	6,40	6,15	6,15	6,66	6,15

структуру с вязкостью 3,5 мПа·с (с учетом погрешности измерений аппарата 0,3 мПа·с). Уравнение регрессии имело вид (8):

$$y = 0,11x + 3,15,\ R^2 = 0,88 \quad (8)$$

Дальнейшие исследования включали обработку исследуемых водных систем под влиянием ультразвукового воздействия в щелочной среде с применением йота-каррагинана (табл. 6) и гуаровой камеди (табл. 7).

При обработке ультразвуком йота-каррагинана в щелочной среде отмечено образование сгустков в системе, она приобрела однородную текстуру.

При повышении температуры в процессе обработки системы в щелочной среде с использованием йота-каррагинана pH находилась в пределах диапазона щелочной среды и составила 8,8 е.д., пенообразование не наблюдалось (9):

$$y = –0,025x + 9,04,\ R^2 = 0,68 \quad (9)$$

Гидроколлоидная система имела вид прозрачной жидкости без осадка, при температуре обработки t = 42,4 °С, коэффициент пропускания имел незначительные изменения. При дальнейшем охлаждении до температуры t = 4,0 ± 0,5 °С продукт приобретал устойчивую структуру с вязкостью 22,3 мПа·с (с учетом погрешности измерений аппарата 0,3 мПа·с). Уравнение регрессии имело вид (10):

$$y = 2{,}34x + 8{,}42,\ R^2 = 0{,}86 \qquad (10)$$

Повышение температуры в процессе ультразвуковой обработки водной системы с гуаровой камедью увеличивалось до 44,0 °С, pH находилась в пределах щелочного диапазона 7,3 ± 0,2 е.д. (с учетом погрешности 0,05). Уравнение регрессии имело вид (11):

$$y = -0{,}073x + 7{,}49,\ R^2 = 0{,}8626 \qquad (11)$$

При дальнейшем охлаждении до температуры t = 4,0 ± 0,5 °С продукт сохранял структуру, что отражено в исследовании вязкости – 6,5 ± 0,2 мПа·с (с учетом погрешности измерений аппарата 0,3 мПа·с). Уравнение регрессии имело вид (12):

$$y = -0{,}04x + 6{,}32,\ R^2 = 0{,}50 \qquad (12)$$

Гидроколлоидная система имела вид прозрачной жидкости, плохо растворимой в используемой среде с образованием плотного сгустка, при температуре обработки t = 44,0 °С.

Вышеприведенные результаты исследований дополнены показателями изменений органолептических свойств. Исследования проведены с применением дескрипторно-профильного метода. Образцы хранили в течение 12 ч при температуре t = 4,0 ± 2,0 °С. Полученные профилограммы представлены на рисунках 1 и 2.

Гидроколлоидные системы с йота-каррагинаном при pH = 7,0 (образцы Й-К.0–Й-К.30), pH = 3,9 (образцы Й-К.К.10–Й-К.К.30) и pH = 3,9 (образцы Й-К.Щ.10–Й-К.Щ.30) имели безвкусный флейвор и прозрачный цвет. Образцы Й-К.0–Й-К.30 и Й-К.К.10–Й-К.К.30 характеризовались эластичной и однородной текстурой (3 балла). У образцов Й-К.Щ.10–Й-К.Щ.30 однородность текстуры оценили в 4 балла.

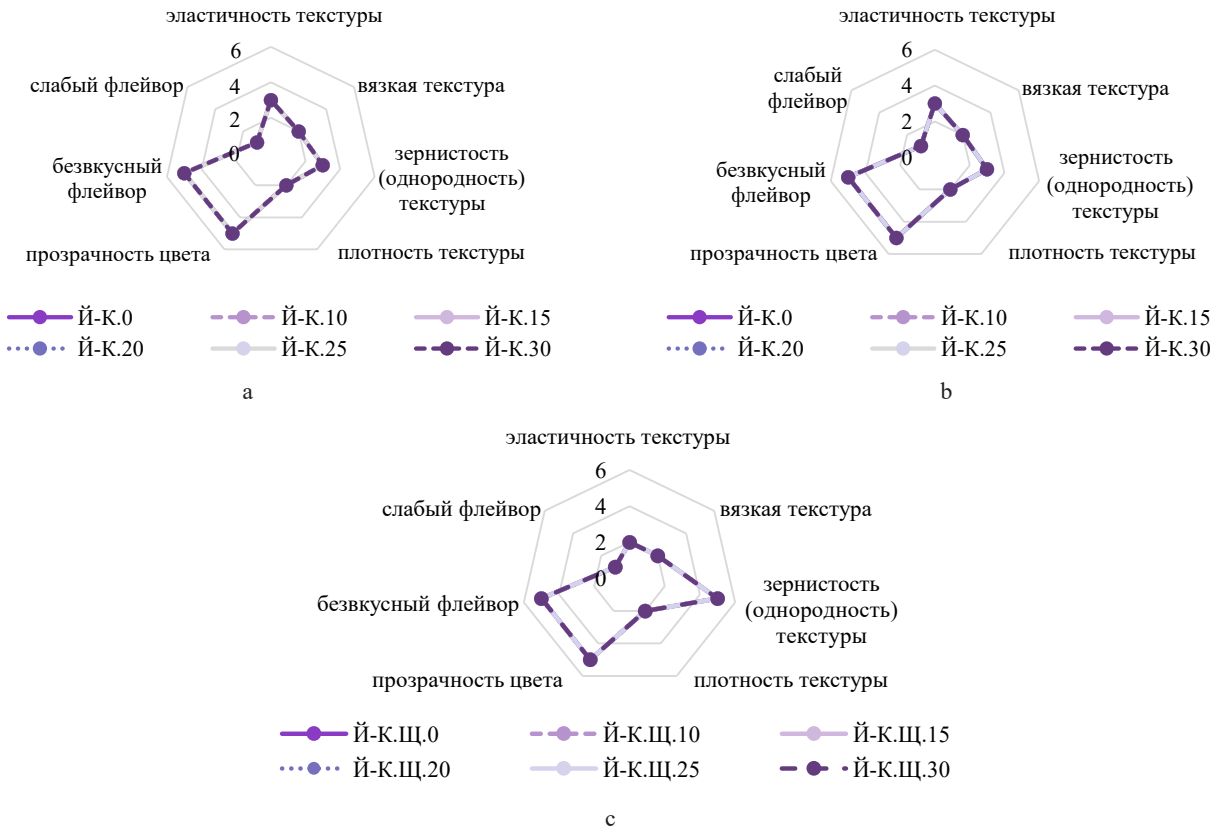


Рисунок 1. Сенсорные профилограммы водной системы с йота-каррагинаном: a – в нейтральной среде (pH = 7,0); b – в кислой среде (pH = 3,9); c – в щелочной среде (pH = 9,0), $P \leq 0$,95

Figure 1. Sensory profiles of aqueous iota-carrageenan: a – neutral pH 7.0; b – acidic pH 3.9; c – alkaline pH 9.0, $P \leq 0.95$

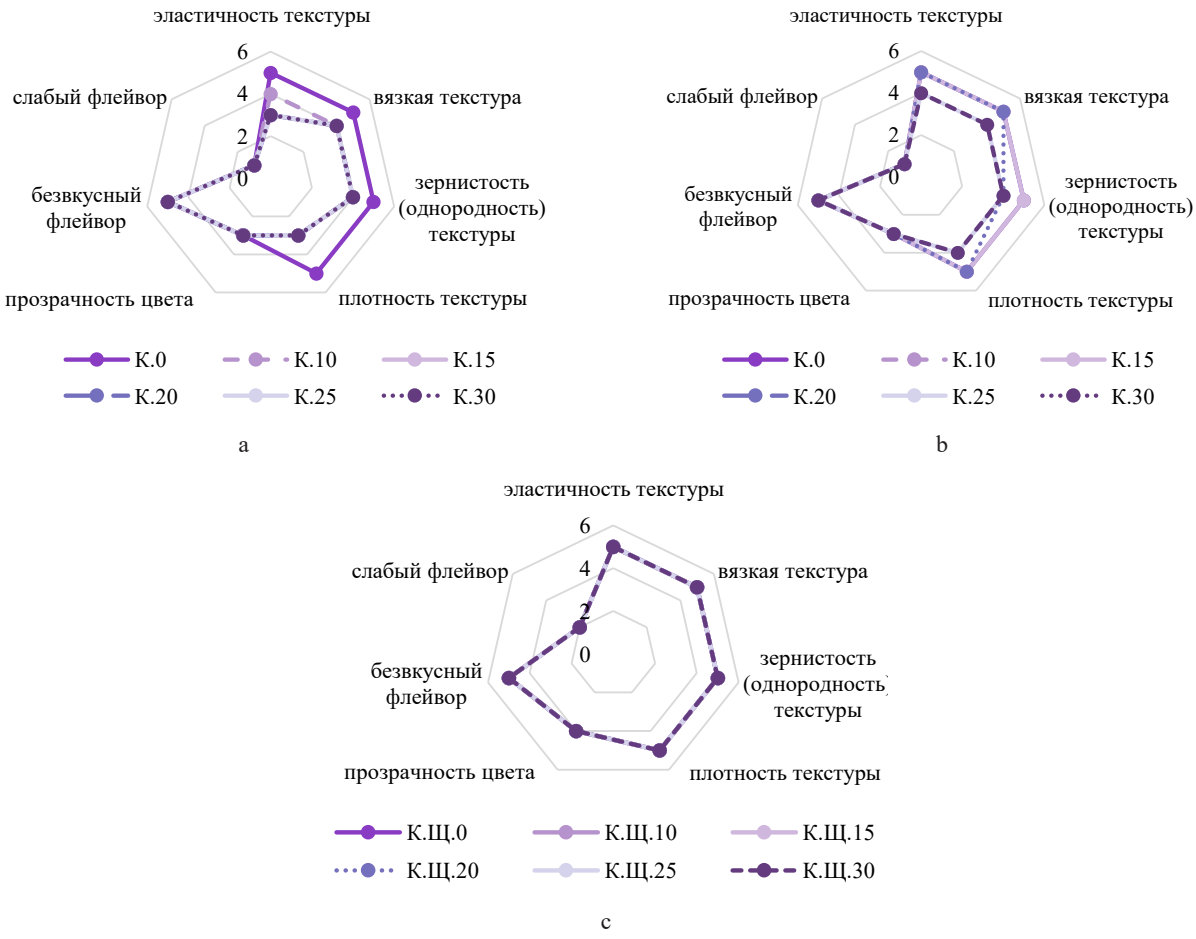


Рисунок 2. Сенсорные профилограммы водной среды с гуаровой камедью: a – в нейтральной среде (pH = 7,0); b – в кислой среде (pH = 3,9); c – в щелочной среде (pH = 9,0), $P \leq 0,95$

Figure 2. Sensory profiles of aqueous guar gum: a – neutral pH 7.0; b – acidic pH 3.9; c – alkaline pH 9.0, $P \leq 0.95$

Гидроколлоидные системы с гуаровой камедью при pH = 7,0 (образцы К.0–К.30) и pH = 3,9 (образцы К.К.0–К.К.30) имели вид эластичной, вязкой, однородной и плотной текстуры, снижающейся при увеличении продолжительности обработки. Вкус и запах образцов описывался как «безвкусный». Система с гуаровой камедью при pH = 9,0 (образцы К.Щ.0–К.Щ.30) имела вид эластичной, вязкой, однородной и плотной текстуры, не снижающейся при увеличении продолжительности обработки.

Выводы

В результате исследований ультразвуковая обработка гидроколлоидов (полисахаридов) йота-каррагинана и гуаровой камеди в присутствии водного экстрагента различного диапазона pH показала, что водная среда с йота-каррагинаном, в отличие от pH среды, имела разный диапазон вязкости. В нейтральной среде вязкость была равна 47,6 мПа·с (при равномерном увеличении до 20 мин обработки), в кислой – 45,7 мПа·с, в щелочной – 22,3 мПа·с. Диапазон pH водных сред в процессе ультразвуковой обработки находился в пределах 8 е.д. Максимальная температура среды составляла 46,5 °C в нейтральной среде.

Вязкость гидроколлоидной системы с гуаровой камедью, в отличие от pH среды, в нейтральной среде снижалась в процессе обработки с 119,0 до 64,8 мПа·с, в кислой – осталась неизменной и была в пределах 3,5 ± 0,2 мПа·с, в щелочной – немного увеличивалась и составила 6,52 мПа·с. Диапазон pH водных сред в процессе ультразвуковой обработки находился в пределах для нейтральной и кислой среды – 6,0 ± 0,5 е.д., для щелочной – 7,4 е.д. Максимальная температура системы составляла 52,5 °C в нейтральной среде.

Согласно установленным данным йота-каррагинан в качестве желирующего агента при использовании ультразвуковых воздействий можно применять для получения продукции с pH в пределах 3,9–6,0 е.д. в создании текучей гелеобразной

структуры продуктов. Гидроколлоидная система с гуаровой камедью, в случае совмещения обработки с ультразвуковыми воздействиями, показала, что вязкость продукта снижается либо находится в низких пределах, поэтому для применения в производстве не рекомендуется.

Критерии авторства

К. Н. Нициевская руководила работой. Все авторы принимали участие в исследованиях и обработке данных, написании текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

K.N. Nitsievskaya supervised the research. All the authors took equal part in the research, data processing, and writing.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Donchenko LV, Sokol NV, Krasnoselova EA. Food chemistry. Hydrocolloids. Moscow: Urait; 2018. 180 p. (In Russ.). [Донченко Л. В., Сокол Н. В., Красноселова Е. А. Пищевая химия. Гидроколлоиды. М.: Юрайт, 2018. 180 с.]. https://elibrary.ru/ZGNSXR

2. Ivleva AR, Kanarskaya ZA. The use of polysaccharides as hydrocolloids in foods. Bulletin of Kazan Technological University. 2014;17(14):418–422. (In Russ.). [Ивлева А. Р., Канарская З. А. Применение полисахаридов в качестве гидроколлоидов в пищевых продуктах // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 14. С. 418–422.]. https://elibrary.ru/STIBUX

3. Mi H, Li Y, Wang C, Yi S, Li X, Li J. The interaction of starch-gums and their effect on gel properties and protein conformation of silver carp surimi. Food Hydrocolloids. 2021;112. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106290

4. Kim H, Hwang H-I, Song K-W, Lee J. Sensory and rheological characteristics of thickened liquids differing concentrations of a xanthan gum-based thickener. Journal of Texture Studies. 2017;48(6):571–585. https://doi.org/10.1111/jtxs.12268

5. Mirzaei M, Alimi M, Shokoohi S, Golchoobi L. Synergistic interactions between konjac-mannan and xanthan/tragacanth gums in tomato ketchup: Physical, rheological, and textural properties. Journal of Texture Studies. 2018;49(6):586–594. https://doi.org/10.1111/jtxs.12359

6. Faheid SMM, Rizk IRS, Kishk YFM, Ragab GH, Mostafa S. Carboxymethyl cellulose and psyllium husk in gluten-free pasta. Foods and Raw Materials. 2022;10(2):329–339. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-540

7. Nepovinnykh NV, Petrova ON, Belova NM, Yeganehzad S. Physico-chemical and texture properties of gelatin-free jelly desserts. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(1):43–49. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-43–49

8. Shishkin AA. Ecology and epidemiology of prion infection. Some aspects of prevention. International Student Scientific Bulletin. 2018;(5). [Шишкин А. А. Экология и эпидемиология прионной инфекции. Некоторые аспекты профилактики // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 5.]. https://elibrary.ru/UZQNKU

9. Istihal theory in Islamic and scientific perspective in food industry [Internet]. [cited 2022 Aug 19]. Available from: https://www.halalcertificationturkey.com/2015/01/28/gelatin-transformation-istihala-in-science-and-fiqh

10. Gilsenan PM, Ross-Murphy SB. Rheological characterisation of gelatins from mammalian and marine sources. Food Hydrocolloids. 2000;14(3):191–195. https://doi.org/10.1016/S0268-005X(99)00050-8

11. Iakubova OS, Bekesheva AA. Scientific substantiation of physical properties of fish gelatin. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2018;(3):132–140. (In Russ.). https://doi.org/10.24143/2073-5529-2017-3-132-140

12. Fagioli L, Pavoni L, Logrippo S, Pelucchini C, Rampoldi L, Cespi M, *et al.* Linear viscoelastic properties of selected polysaccharide gums as function of concentration, pH, and temperature. Journal of Food Science. 2019;84(1):65–72. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14407

13. Habibi H, Khosravi-Darani K. Effective Variables on production and structure of xanthan gum and its food applications: A review. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2017;10:130–140. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.02.013

14. Alba K, MacNaughtan W, Laws AP, Foster TJ, Campbell GM, Kontogiorgos V. Fractionation and characterisation of dietary fibre from blackcurrant pomace. Food Hydrocolloids. 2018;81:398–408. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.023

15. Kurganova EV, Arseneva TP. Selection of the stabilizer type and dose for fermented frozen sherbet. Journal of International Academy of Refrigeration. 2017;(3):10–15. (In Russ.). https://doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-3-10-15

16. Cui H, Yang M, Shi C, Li C, Lin L. Application of xanthan-gum-based edible coating incorporated with *Litsea cubeba* essential oil nanoliposomes in salmon preservation. Foods. 2022;11(11). https://doi.org/10.3390/foods11111535

17. Dzionek A, Wojcieszyńska D, Guzik U. Use of xanthan gum for whole cell immobilization and its impact in bioremediation – A review. Bioresource Technology. 2022;351. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126918

18. Santos JC, Coêlho DF, Tambourgi EB, da Silva GF, Souza RR. Production of xanthan gum by X*anthomonas campestris* CCT 13951 submerged fermentation on hydrolysed agroindustrial by-products. 2021. https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-158198%2FV1

19. Berninger T, Dietz N, González López Ó. Water-soluble polymers in agriculture: xanthan gum as eco-friendly alternative to synthetics. Microbial Biotechnology. 2021;14(5):1881–1896. https://doi.org/10.1111/1751-7915.13867

20. Akhmedov OR, Sohibnazarova KhA, Shomurotov ShA. Biologically active compounds based on modified xanthan gum. Chemistry of Plant Raw Materials. 2017;(3):227–231. (In Russ.). https://doi.org/10.14258/jcprm.2017031729

21. Mukhanova MA, Iakubova OS, Bekesheva AA, Aizatulina NR. Guar comparative characteristics and prospects of their use for sauces gelation. Food Industry. 2021;6(3):58–68. (In Russ.). https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-7

22. Basiri S. Applications of microbial exopolysaccharides in the food industry. Avicenna Journal of Medical Biochemistry. 2021;9(2):107–120. https://doi.org/10.34172/ajmb.2021.16

23. Rana S, Upadhyay LSB. Microbial exopolysaccharides: Synthesis pathways, types and their commercial applications. International Journal of Biological Macromolecules. 2020;157:577–583. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.084

24. Moustafa M, Abu-Saied MA, Taha TH, Elnouby M, El Desouky EA, Alamri S, *et al.* Preparation and characterization of super-absorbing gel formulated from κ-carrageenan – potato peel starch blended polymers. Polymers. 2021;13(24). https://doi.org/10.3390/polym13244308

25. Liu B, Zhu S, Zhong F, Yokoyama W, Huang D, Li Y. Modulating storage stability of binary gel by adjusting the ratios of starch and kappa-carrageenan. Carbohydrate Polymers. 2021;268. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118264

26. Abdillah AA, Lin H-H, Charles AL. Development of halochromic indicator film based on arrowroot starch/iota-carrageenan using Kyoho skin extract to monitor shrimp freshness. International Journal of Biological Macromolecules. 2022;211:316–327. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.076

27. Marín-Peñalver D, Alemán A, Montero MP, Gómez-Guillén MD. Entrapment of natural compounds in spray-dried and heat-dried iota-carrageenan matrices as functional ingredients in *surimi* gels. Food and Function. 2021;12(5):2137–2147. https://doi.org/10.1039/D0FO02922J

28. Fransiska D, Utomo BSB, Darmawan M, Gozali D, Iqbal MN. Physicochemical characterization of kappa-iota carrageenan gel with papain enzyme. Journal of Physics: Conference Series. 2021;1943. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1943/1/012175

29. Praseptiangga D, Rahmawati A, Manuhara GJ, Khasanah LU, Utami R. Effects of plasticizer and cinnamon essential oil incorporation on mechanical and water barrier properties of semirefined iota-carrageenan-based edible film. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;828. https://doi.org/10.1088/1755-1315/828/1/012034

30. Campo VL, Kawano DF, da Silva DB, Carvalho I. Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis – A review. Carbohydrate Polymers. 2009;77(2):167–180. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.01.020

31. Carrillo-Lopez LM, Alarcon-Rojo AD, Luna-Rodriguez L, Reyes-Villagrana R. Modification of food systems by ultrasound. Journal of Food Quality. 2017;2017. https://doi.org/10.1155/2017/5794931

32. Tsuglenok NV. Electrophysical methods of seed treatment. Issues of Science and Education. 2019;68(21):46–59. (In Russ.). [Цугленок Н. В. Анализ эффективного использования электрофизических методов обработки семян // Вопросы науки и образования. 2019. Т. 68. № 21. С. 46–59.]. https://elibrary.ru/AFGBPR

33. Zipaev DV, Kozhukhov AN, Tulina AA. Hopped lemonade production technology. Journal of International Academy of Refrigeration. 2020;(1):97–102. (In Russ.). https://doi.org/10.17586/1606-4313-2020-19-1-97-102

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2442
https://elibrary.ru/WPBYMS

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Сушка яблочных чипсов с применением интеллектуальной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой

М. Д. Соснин*, И. А. Шорсткий

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

Поступила в редакцию: 05.09.2022
Принята после рецензирования: 27.10.2022
Принята к публикации: 08.11.2022

**М. Д. Соснин: maksim-sosnin7@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6275-6274*
И. А. Шорсткий: https://orcid.org/0000-0001-5804-7950

© М. Д. Соснин, И. А. Шорсткий, 2023

Аннотация.
Интенсификация процесса сушки с сохранением качества продукта является важной задачей плодоовощной переработки. Ее решение возможно путем комбинирования инфракрасной сушки с применением передовых электрофизических технологий. Цель данной работы заключалась в изучении влияния обработки низкотемпературной атмосферной плазмой на эффективность сушки яблочных чипсов.

Обработке подвергали чипсы из яблок сорта Айдаред (Россия) толщиной 5, 7 и 10 мм. Изучали кинетику сушки и диффузию влаги. Качество готовых яблочных чипсов оценивали по общему содержанию фенолов и флавоноидов, обобщенной антирадикальной активности, цветовым характеристикам и инфракрасному спектру с преобразованием Фурье.

Результаты показали, что индуцированные низкотемпературной атмосферной плазмой каналы (электропоры) в образцах яблочных чипсов имеют древовидную структуру. За счет предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой длительность сушки была снижена на 18,0, 13,0 и 10,5 % для образцов чипсов толщиной 5, 7 и 10 мм соответственно. Отметили снижение удельного энергопотребления процесса сушки на 15–18 % в зависимости от толщины образцов. Предварительная обработка низкотемпературной атмосферной плазмой способствовала увеличению общего содержания фенолов, флавоноидов и обобщенной антирадикальной активности на 2,5–14,3, 19,1–25,9 и 8,3–35,4 % соответственно по сравнению с контрольным образцом.

Предварительная обработка низкотемпературной атмосферной плазмой позволяет сократить время сушки плодоовощной продукции и сохранить биологически активные соединения.

Ключевые слова. Плодоовощная продукция, низкотемпературная плазма, сушка, чипсы, качество, кинетика сушки, антирадикальная активность

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (РНФ), № 21-79-00112. Исследования выполнялись с использованием оборудования ЦКП «Исследовательский центр пищевых и химических технологий» Кубанского государственного технологического университета (КубГТУ) (СКР_3111), развитие которого поддерживается Министерством науки и высшего образования РФ (Минобрнауки России) (Соглашение № 075-15-2021-679).

Для цитирования: Соснин М. Д., Шорсткий И. А. Сушка яблочных чипсов с применением интеллектуальной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 368–383. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2442

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2442
https://elibrary.ru/WPBYMS

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Cold Atmospheric Gas Plasma Processing of Apple Slices

Maxim D. Sosnin*, Ivan A. Shorstkii

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Received: 05.09.2022
Revised: 27.10.2022
Accepted: 08.11.2022

**Maxim D. Sosnin: maksim-sosnin7@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6275-6274*
Ivan A. Shorstkii: https://orcid.org/0000-0001-5804-7950

© M.D. Sosnin, I.A. Shorstkii, 2023

Abstract.
The food industry needs more effective drying procedures that would maintain the quality of the original fruit or vegetable. Infrared drying combined with advanced electrophysical technologies may be a perfect solution. The present research objective was to study the effect of low-temperature atmospheric gas plasma treatment on the drying efficiency of apple slices.
The research featured apples of the Idared variety (Russia) sliced into pieces of 5, 7, and 10 mm. The experiment involved the parameters of drying kinetics and moisture diffusion. The quality of the apple slices was assessed by the total content of phenols and flavonoids, generalized antiradical activity, color characteristics, and the Fourier transform infrared (FT-IR) spectrum.
The electropores induced by the cold atmospheric gas plasma processing had a tree-like structure. The pre-treatment reduced the drying time by 18.0, 13.0 and 10.5% for the samples with a thickness of 5, 7, and 10 mm, respectively. The specific energy consumption decreased by 15–18%, depending on the slice thickness. The pre-treatment also increased the total content of phenols, flavonoids, and antiradical activity by 2.5–14.3, 19.1–25.9, and 8.3–35.4%, respectively.
Therefore, the pre-treatment with cold atmospheric gas plasma reduced the drying time and preserved the original biologically active compounds in dried apple slices.

Keywords. Fruit and vegetable products, low-temperature plasma, drying, fruit slices, quality, drying kinetics, antiradical activity

Funding. The study was supported by the Russian Science Foundation (RSF) (No. 21-79-00112) and performed on the premises of the Research Center for Food and Chemical Technologies at the Kuban State Technological University (KubSTU) (CKP_3111), which, in its turn, was financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauki) (Agreement No. 075-15-2021-679).

For citation: Sosnin MD, Shorstkii IA. Cold Atmospheric Gas Plasma Processing of Apple Slices. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):368–383. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2442

Введение

Яблоки и их производные являются одними из самых востребованных продуктов питания, обладающих разнообразными полезными и питательными свойствами [1, 2]. Годовое производство яблок в мире составляет около 83 млн т, увеличиваясь на 3 % каждый год [3]. Наряду с объемным потреблением растет количество производимых продуктов на основе яблок, в том числе яблочные чипсы и снеки [4].

Инфракрасная (ИК) сушка, учитывая экономическую эффективность и низкие эксплуатационные расходы, является одним из наиболее распространенных промышленных методов обработки, используемых при производстве фруктовых и овощных чипсов [5, 6]. Однако у ИК-сушки есть ряд недостатков. Например, длительное время обработки при высоких температурах может способствовать снижению качественных характеристик продукта, таких как вкус, цвет, текстура и питательная ценность [7]. Это связано с малыми скоростями тепломассообмена, которые могут быть ускорены за счет использования новых «нетепловых» технологий обработки. Кроме того, малые скорости массообмена, связанные с процессами ИК-сушки, можно увеличить с помощью предварительной обработки, дополненной либо другими методами сушки, либо внешними электрофизическими силами [8]. Комбинирование процесса сушки с такими передовыми технологическими методами обработки, как импульсное электрическое поле, обработка под высоким давлением, СВЧ-обработка, обработка низкотемпературной плазмой и ультразвуком, способствует снижению потерь питательных веществ в обезвоженных продуктах [9]. Сочетание выше-

указанных технологических процессов с ИК-сушкой будет способствовать снижению энергетических затрат в процессе испарения влаги [8].

Методы совершенствования процесса сушки растительных материалов разделились на две основные группы. Первая группа направлена на развитие новых подходов к осуществлению тепломассообменных процессов с использованием высокочастотной и СВЧ-энергии, вакуумной заморозки и перегретого пара низкого давления, которые способствуют не только сокращению длительности сушки и сохранению биоактивных и сенсорных компонентов продукта, но и снижению энергоемкости процесса [10]. Вторая группа включает методы предварительной обработки ультразвуком, импульсным электрическим полем и низкотемпературной плазмой, которые ускоряют процесс сушки за счет модификации капиллярно-пористой структуры, а также повышают как качество, так и сохранность обработанных пищевых продуктов [11]. Авторы S. Tappi и др. сообщили, что обработка атмосферной газовой плазмой вызывала ингибирование ферментативного потемнения яблочных чипсов наряду со снижением активности полифенолоксидазы [12]. Авторы A. Lammerskitten и др. установили, что влияние импульсного электрического поля с напряженностью 1,07 кВ/см и удельной энергией 5 кДж/кг в сочетании с сублимационной сушкой (60 °C при 0,1 мбар) привело к снижению длительности сушки в два раза [13]. Использование комбинированного подхода воздействия ультразвука и СВЧ способствовало высокой эффективности сушки яблочных чипсов [14].

Целью данной работы являлось исследование применения интеллектуальной технологии обработки низкотемпературной атмосферной плазмой для ускорения процесса сушки яблочных чипсов с сохранением качества получаемого продукта. Для этого в работе реализовали алгоритм оценки предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой в сочетании с инфракрасной сушкой на эффективность сушки яблочных чипсов (кинетику сушки и диффузию влаги) и показатели качества (общее содержание фенолов (TPC) и флавоноидов (TFC), обобщенная антирадикальная активность, антиоксидантная способность, железовосстанавливающая антиоксидантная способность (FRAP), цвет и спектры FT-IR).

Объекты и методы исследования

Яблоки (сорт Айдаред, Россия) хорошего и однородного качества были приобретены у местного производителя. Начальное влагосодержание (в пересчете на массу) в яблоке составило 5,89 ± 0,1 (кг воды/кг сухого вещества), определяемое стандартным методом сушильного шкафа [15]. Очищенные яблоки нарезали на диски (наружный диаметр 60 мм, внутренний диаметр 20 мм, толщина 5, 7 и 10 мм) с помощью нарезной машины MG-381 (Magio, Китай). Толщина дисков яблок была выбрана из-за возможности сравнительного анализа с литературными данными и предпочтительной товарной толщины продукта (5–12 мм) [16]. После нарезки яблоки отправляли на электрофизическую обработку.

Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой. Принцип работы экспериментальной установки, в соответствии с запатентованной технологией [17], показан на рисунке 1. Для генерации низкотемпературной атмосферной плазмы в воздушном зазоре использовали конфигурацию электродов типа «точка – пластина», которая включала пластину из нержавеющей стали в качестве заземленного электрода и точечный стальной электрод диаметром 1 мм в качестве высоковольтного электрода в диэлектрическом держателе. Зазор между электродами равен 15 мм. Камера обработки имела квадратную форму (длина 20 см), изготовленную из диэлектрического материала. Заземленный электрод в диэлектрическом держателе был установлен на позиционной платформе с двумя шаговыми двигателями для обеспечения перемещения по оси X–Y (рис. 1a). Траекторию движения (красная зигзагообразная линия) задавали с помощью авторской интеллектуальной системы распознавания объектов (рис. 1b). Траекторию задавали для максимальной обработки поверхности яблочных дисков. Сразу после процедуры обработки яблочные диски сушили в инфракрасном сушильном шкафу.

Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой была выполнена с использованием высоковольтной системы питания (Matsusada AMPS 20B20, Япония) в сочетании с функциональным генератором Agilent [18]. В поставленных экспериментах длительность импульса и частота микроплазменного разряда составляли 50 мкс и 100 Гц соответственно. Выбранные электрические параметры позволили точно контролировать обработку ткани яблок в сочетании со скоростью перемещения электрода. Каждый импульс подавал напряжение до 14 кВ. Кроме того, при предварительной обработке низкотемпературной атмосферной плазмой использовались положительные импульсы с напряженностью электрического поля 8 кВ/см. Средняя удельная потребляемая энергия для предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой составила 1,7 кДж/кг при 6000 разрядах. Общее время обработки составило 60 с. Разница температуры между предварительно обработанными низкотемпературной атмосферной плазмой яблочными чипсами и контрольным образцом составила менее 2 °C, ее измерили с помощью термопары T-типа.

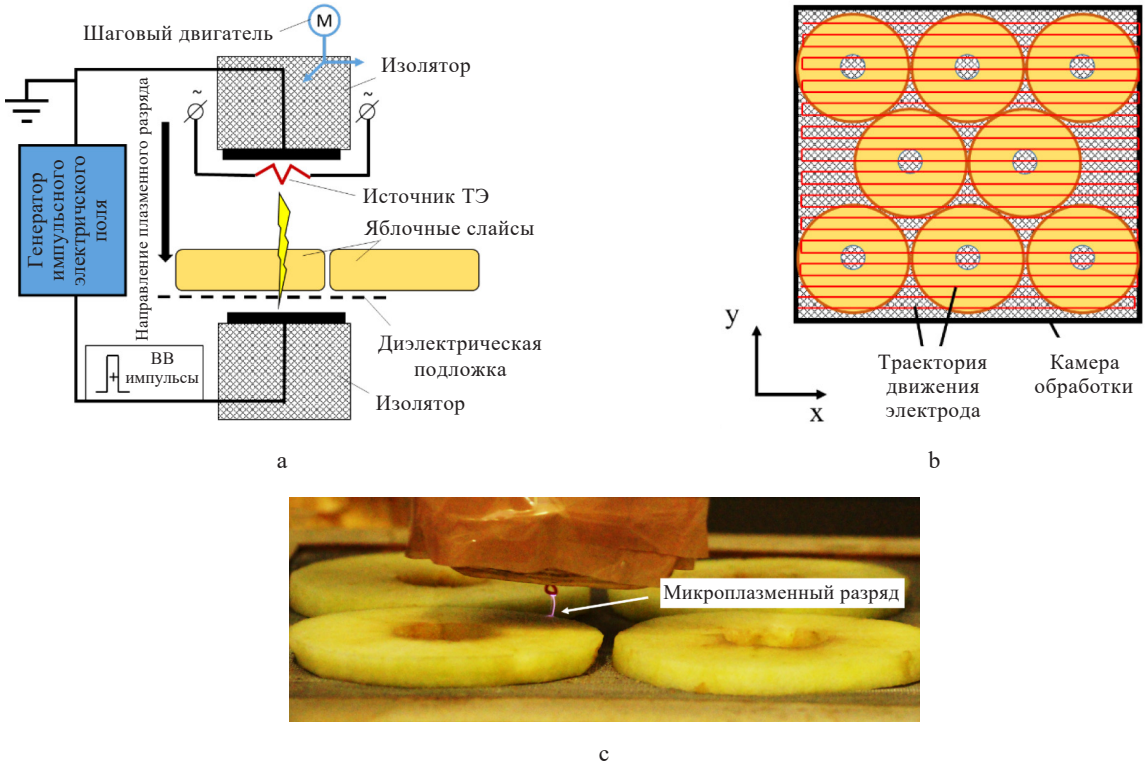


Рисунок 1. Принцип работы экспериментальной установки: a – схема экспериментальной установки для предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой; b – траектория движения электрода в камере обработки; c – процесс обработки яблочных чипсов низкотемпературной атмосферной плазмой

Figure 1. Experimental setup for apple slices: a – experimental setup for pre-treatment with cold atmospheric gas plasma; b – electrode trajectory in the processing chamber; c – processing with cold atmospheric gas plasma

ИК-сушка. Эксперименты по сушке проводились в лабораторной ИК-сушилке. Расстояние между яблочными чипсами и двумя ИК-лампами (Ballu BIH-l-0.3, Китай) составило 10 см. В установленном режиме был получен средний радиационный тепловой поток 0,11 Вт/м^2 с длиной волны излучения 3 мкм. Рабочие параметры были выбраны на основе литературных данных о глубине проникновения ИК-излучения в ткани яблок (около 10 мм при длине волны 3 мкм) [19]. Во время эксперимента с ИК-сушкой потеря влаги образцами яблочных чипсов измерялась с интервалом 10 мин. ИК-сушку продолжали до тех пор, пока конечное содержание влаги в образцах не достигло ~ 0,06 г/100 г сухого вещества. Значение конечного содержания влаги было выбрано исходя из условий дальнейшего хранения яблочных чипсов.

Аналитические методы анализа. ***Кинетика сушки.*** Кривые сушки контрольных и предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой образцов яблочных чипсов были проанализированы с использованием моделей тонкослойной сушки [20]. Измерение кинетики сушки проводили с помощью анализатора влажности HC103 (Mettler Toledo, Швейцария). Коэффициент влажности (*MR*) образцов яблочных чипсов в процессе сушки рассчитывали по уравнению (1) [21]:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

где M_t – содержание влаги в любой момент времени t, кг воды/кг сухого вещества; M_0 – начальное содержание влаги, кг воды/кг сухого вещества; M_e – равновесное содержание влаги, кг воды/кг сухого вещества. В уравнении (1) значение M_e мало, поэтому уравнение можно упростить до вида $MR = M_t/M_0$.

Скорость сушки (*DR*, кг/кг·с) образцов яблок в любой момент времени t может быть рассчитана по уравнению (2):

$$DR = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (2)$$

где M_t – содержание влаги в момент времени t, кг воды/кг сухого вещества; $M_{t+\Delta t}$ – содержание влаги за промежуток времени $t+\Delta t$, кг воды/кг сухого вещества; Δt – промежуток времени между замерами, с.

Диффузионная способность влаги. Коэффициент диффузии в каждом эксперименте определяли в соответствии с подходом [7]. Предполагается, что сушка проходит в периоде подающей скорости, и диффузия влаги управляет процессом, поэтому для описания можно использовать второй закон диффузии Фика (3) [16]:

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}exp\left(-(2n+1)^2\frac{\pi^2 D_{eff}t}{4L^2}\right) \quad (3)$$

где t – время сушки, с; D_{eff} – эффективная диффузия влаги, м^2/с; L – характерный геометрический параметр (половина толщины яблочных дисков).

Уравнение (3) дополнительно упрощается до уравнения (4) длительным периодом процесса сушки:

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}exp\left(\frac{-\pi^2 D_{eff}t}{4L^2}\right) \quad (4)$$

Натуральный логарифм уравнения (4) → (5) коррелирует с линейным уравнением (6).

$$ln(MR) = ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) + \left[\frac{-\pi^2 D_{eff}t}{4L^2}\right] \quad (5)$$

$$y = y_0 + ax \quad (6)$$

Энергетические аспекты ИК-сушки и предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой. Удельное потребление энергии ($W_{уд}$) было рассчитано следующим образом [22]:

$$W_{уд} = \frac{W_{ИК} + W_{НАП} + W_{ТЭ}}{M_в} \quad (7)$$

где $W_{ИК}$ – энергопотребление ИК-сушилки, кВт/ч; $W_{НАП}$ – энергопотребление низкотемпературной атмосферной плазмы на стадии предварительной обработки, кВт/ч; $W_{ТЭ}$ – энергопотребление источника термоэлектронной эмиссии на стадии предварительной обработки, кВт/ч; $M_в$ – масса выпаренной воды, кг. Значения $W_{ИК}$ и $W_{ТЭ}$ были получены с помощью измерителя мощности в процессе экспериментов. Значение $W_{НАП}$ определяли по вольт-амперной характеристике, описанной в [23], с помощью уравнения (8):

$$W_{НАП} = n \times \int U(t) \times I(t) \times dt \quad (8)$$

где n – количество импульсов; $U(t)$ – мгновенные напряжения на электродах; $I(t)$ – ток разряда, проходящий через образец.

Анализ качества высушенных чипсов. Определение качества предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и контрольных образцов яблочных чипсов, высушенных ИК-сушкой, включало в себя оценку цветовых характеристик, общее содержание флавоноидов и фенолов, антирадикальную активность, а также результаты Фурье инфракрасной спектроскопии.

Цветовые параметры. Цвет образцов измеряли с помощью колориметра Konica Minolta CR-400 (Осака, Япония). Цветовой эксперимент был проведен пять раз, значения были выражены в шкале CIE $L^*a^*b^*$ (L – яркость, a – диапазон цвета от зеленого до красного, b – диапазон цвета от синего до желтого). Общую разницу в цвете (ΔE) определяли в соответствии с уравнением (9), изложенным в [13]:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (9)$$

где ΔL, Δa и Δb – разности между значениями, измеренными для предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и контрольных образцов, высушенных в ИК-сушилке.

Общее содержание флавоноидов (TFC). Для оценки наличия и уровня флавоноидов для определения TFC образцов использовали колориметрический метод с незначительными изменениями [24]. Для этого 10 мл образца помещали в мерную колбу, содержащую ~ 1 мл 5 % (по массе) нитрита натрия, и выдерживали в течение ~ 6 мин, после чего проводили реакцию с ~ 1 мл 10 % (по массе) нитрата алюминия для образования флавоноидно-алюминиевого комплекса. Через 6 мин добавляли 10 мл ~ 4 % (по массе) NaOH и около 25 мл дистиллированной воды. Через ~ 15 мин при температуре окружающей среды конечный раствор снова тщательно перемешивали. После этого с помощью УФ-спектрофотометра (Specord 200 Plus, Analytical Jena, Германия) определяли поглощение, по сравнению с заготовкой, при 510 нм. В TFC использовалась калибровочная кривая стандарта катехина. TFC образцов были выражены в миллиграммах эквивалентов катехина (CE) на 100 г исходного вещества.

Общее содержание фенолов (TPC). Для оценки наличия и уровня фенольных соединений для определения параметра TPC образцов использовался анализ Фолина-Чокальтеу с незначительными изменениями [24]. Приблизительно 0,5 мг измельченной пробы смешивали с 1,5 мл дистиллированной воды, из которой отбирали 100 мкл раствора, и встряхивали в течение 1 мин с 500 мкл реагента Фолина-Чокальтеу (предварительно разбавленного водой 1:1 в/в) и 6 мл дистиллированной воды. После завершения тщательного перемешивания добавляли 2 мл 15 % карбоната натрия и снова перемешивали в течение примерно 30 с. Смесь доводили до объема 10 мл путем добавления дистиллированной воды, а затем выдерживали в течение 2 ч при температуре окружающей среды. Затем с помощью стеклянных кювет измеряли параметр поглощения на длине волны 750 нм с помощью

УФ-спектрофотометра (Specord 200 Plus, Analytical Jena, Германия). Согласно G. Y. Y. Faria и др. галловая кислота (0–150 мкг/мл) служила стандартом для построения ее калибровочной кривой [25]. ТРС был представлен в пересчете на миллиграмм эквивалента галловой кислоты на грамм сырой массы (мг GAE/г сухого вещества).

Антирадикальная активность. Антирадикальная активность по поглощению свободных радикалов является известным показателем. В данной работе антирадикальную эффективность образцов по поглощению свободных радикалов определяли по методу DPPH, описанному в [26] с небольшими изменениями. Для этого использовали 80 %-ный этанол, который смешивали с яблочными экстрактами до конечной концентрации в диапазоне 1,10–1,61 мг сухого вещества/мл. Затем добавляли 2 мл раствора DPPH, кратковременно перемешивали и выдерживали в темноте в течение ~ 30 мин с последующим измерением поглощения при длине волны 515 нм с использованием УФ-спектрофотометра (Specord 200 Plus, Analytical Jena, Германия). Активность по поглощению свободных радикалов DPPH (%) определяли по уравнению (10), которое изложено в [27]:

$$\text{Активность DPPH} = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \qquad (10)$$

где A_0 – контрольный образец; A_1 – абсорбционный образец. Эффект очистки относится к проценту активности по удалению свободных радикалов.

Антиоксидантная способность. На образцах провели анализ антиоксидантной способности по методу FRAP (ferric reduce antioxidant power) с небольшими изменениями [28]. Реагент FRAP был приготовлен из ацетатного буфера (pH 3,6), включающего ~ 10 ммоль раствора TPTZ, 40 ммоль HCl и 20 ммоль раствора хлорида железа (III) в соответствующих пропорциях 10:1:1 (по объему). Реагент FRAP перед использованием нагревали до 37 °C. Приблизительно 50 мкл образца добавляли к 1,5 мл реагента FRAP, затем перемешивали в течение ~ 1 мин и выдерживали в темноте в течение ~ 30 мин. Увеличение поглощения реакционной смеси определяли на длине волны 593 нм с помощью УФ-спектрофотометра (Specord 200 Plus, Analytical Jena, Германия) относительно рабочего агента FRAP, который служил заготовкой. Результаты анализов FRAP выражали ммоль/кг.

Инфракрасная Фурье-спектроскопия (FT-IR). Функциональные группы в образцах, были измерены с помощью FT-IR-спектроскопии с небольшими изменениями [29]. Прибор FT-IR (спектрометр FT-IR Spectrum Two, Массачусетс, США) использовался для определения спектроскопии FT-IR предварительно обрабоных низкотемпературной атмосферной плазмой и необработанных образцов. Образец (~ 2 мг) измельчали, а затем смешивали с порошкообразным бромистым калием (1:100) и формировали цирический диск. Спектральный диапазон 4000–400 $см^{-1}$ служил способом для получения спектра с помощью программного обеспечения Spectrum. Для каждого образца было усреднено 32 сканирования со спектральным разрешением 4 $см^{-1}$. В дополнение к нормализации всех спектров было выполнено 5 запусков в тех же условиях, что и в рекомендациях [30].

Статистический анализ. Все эксперименты проводили с трехкратной повторностью. Для оценки достоверных различий между исследуемыми параметрами был проведен дисперсионный анализ по методике ANOVA при $\alpha = 0{,}05$ и методу Tukey. Статистический анализ проводился с помощью программ STATISTICA 13 (Statsoft, США) и Excel (Microsoft, США).

Результаты и их обсуждение

Визуальный эффект от обработки низкотемпературной атмосферной плазмой. Образцы яблочных чипсов, предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой (НАП) и

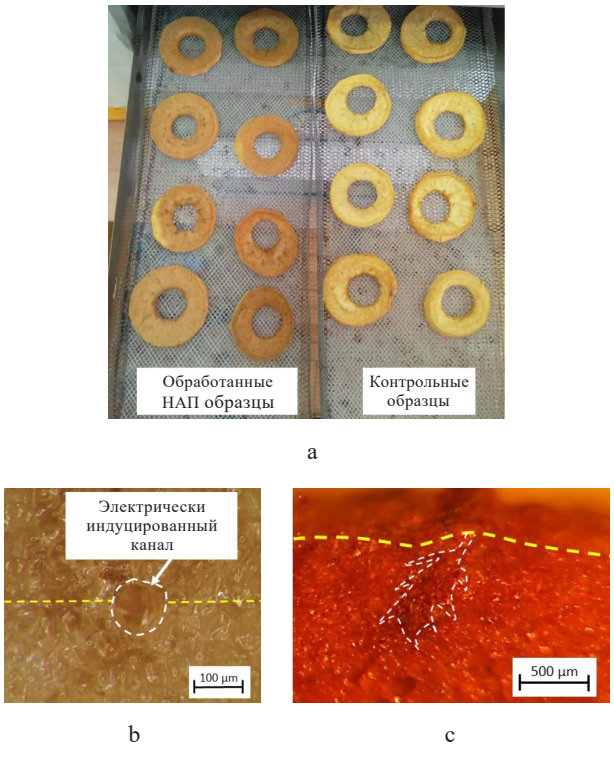


Рисунок 2. a – сушка яблочных чипсов в ИК-сушилке; b – изображение электрически индуцированного канала после предварительной обработки; c – поперечное сечение канала

Figure 2. Drying apple slices in an IR dryer (a); electropores after pretreatment (b); electropore in cross section (c)

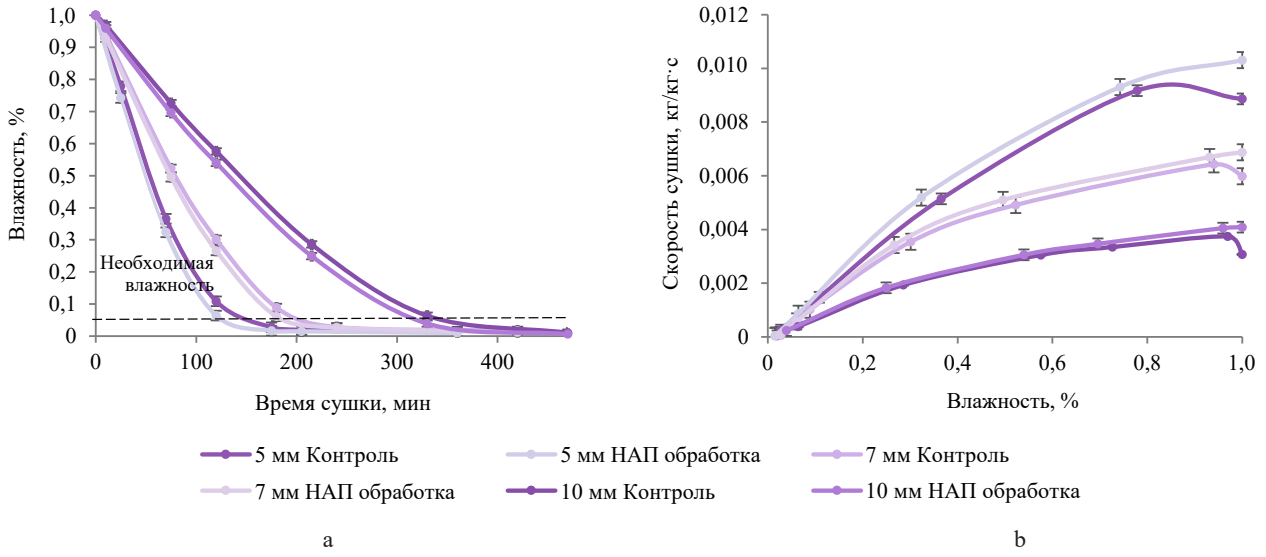


Рисунок 3. Кинетика (a) и скорость сушки (b) яблочных чипсов различной толщины (5, 7 и 10 мм) до и после предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой (НАП)

Figure 3. Kinetics (a) and drying rate (b) of apple slices of various thicknesses (5, 7 and 10 mm) before and after pre-treatment with cold atmospheric gas plasma

необработанных (контрольных), показаны на рисунке 2a. Потемнение является основным визуальным эффектом в образцах яблок, предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой. Данный эффект подтвердился авторами N. Karim и др. на грибах Шиитаке, подвергнутых диэлектрическому барьерному разряду в потоке низкотемпературной плазмы в течение 10 мин при 135 л/мин [11]. Авторы объясняют данный эффект взаимодействием кислорода, проникающего через структуру ткани и вступающего в реакцию с фенольными соединениями. Изображение электрически индуцированного канала на яблочных чипсах и поперечное сечение канала через желтую линию в высушенном образце показаны на рисунке 2b и 2c соответственно. В процессе обработки низкотемпературной атмосферной плазмой электрически индуцированный канал, проходящий через всю поверхность и толщину яблочных чипсов, сопровождается образованием электрической древовидной структуры, изображенной белой пунктирной линией (рис. 2c) [31]. Диаметр электроиндуцированного канала на поверхности составлял в среднем 110 мкм. По сравнению с другими методами плазменной обработки предварительная обработка низкотемпературной атмосферной плазмой позволяет получать каналы большего диаметра, что влияет на процесс массопереноса. В других растительных материалах импульсный микроразряд приводил к образованию поверхностных каналов диаметром 60 мкм, которые напоминали микроотверстия [32]. Такие электроиндуцированные каналы были обнаружены на поверхности перца после воздействия плазмы [33]. Эффект от предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой сравнивается с прокалыванием тонкой иглой [18]. Электрически индуцированные каналы могут заполняться внутриклеточной жидкостью, которая под воздействием тургорного давления клетки появляется на поверхности материала.

Кинетика и скорость сушки. На рисунке 3 показана кинетика и скорость сушки яблочных чипсов различной толщины (5, 7 и 10 мм) до и после предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой. Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой улучшает кинетику сушки яблочных чипсов за счет формирования электрически индуцированных каналов с древовидной структурой, которые снижают сопротивление переноса влаги во время процесса сушки. Аналогичный результат был получен X. Zhang и др., которые обработали перец чили холодной плазмой и обнаружили, что время сушки после предварительной обработки сократилось [33]. Аналогичное объяснение образования микроотверстий было представлено Y. H. Zhou и др. при обработке волчьей ягоды [34]. В наших экспериментах время сушки уменьшилось на 18, 13 и 10,5 % для яблочных чипсов толщиной 5, 7 и 10 мм соответственно. Время сушки контрольных и обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой образцов снижалось с уменьшением начальной толщины яблок. Период снижения скорости диффузии, который варьировался между контрольными и предварительно обработанными низкотем-

пературной атмосферной плазмой образцами, является доминирующим физическим механизмом метода ИК-сушки [8]. В отличие от контрольных образцов, где скорость сушки достигла пика только через ~ 10 мин, скорость сушки яблочных чипсов, предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой, достигла своего пика в начале процесса сушки. Такое поведение кривой скорости сушки показало, что скорость испарения влаги с поверхности образца, предварительно обработанного низкотемпературной атмосферной плазмой, выше той, которая происходила изнутри. Возможно, что около 3–5 % начальной влаги могло быть преобразовано в свободную жидкость из поверхностных пор материала, предварительно обработанного низкотемпературной атмосферной плазмой [35]. Это соответствует эффектам, о которых сообщалось для ткани яблока, предварительно обработанной импульсным электрическим полем, и ткани картофеля после обработки микроплазмой [18, 36].

Процесс сушки должен проводиться бережно, чтобы сохранить не только внешний вид и аромат, но и цвет, вкус и питательные свойства исследуемого пищевого продукта [37]. На рисунке 3 показано, что кривые скорости сушки могут различаться по двум периодам: короткий период доминирующего физического механизма термодиффузии и период снижения скорости осмотического и адсорбционного испарения влаги. Образцы, предварительно обработанные низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенные в ИК-сушилке, будут приводить к более быстрому снижению влажности, по сравнению с контрольными образцами, что согласуется с предыдущими исследованиями [38]. Однако это не сходится с исследованием обработки плазмой плодов Тукумы, результаты которого привели к снижению длительности сушки в два раза [10]. По мнению авторов, предварительная обработка низкотемпературной атмосферной плазмой может привести к повышению температуры до 14 °C в течение 5 мин (время обработки) для данного образца весом 15 г. Например, Y. H. Zhou и др. сообщили, что холодная плазма повысила эффективность сушки волчьей ягоды на 50 % [34]. S. H. Miraei Ashtiani и др. отметили, что предварительная обработка плазмой скользящей дуги сокращает время сушки и потребление энергии до 26,27 и 26,30 % соответственно [22]. Таким образом, предварительная обработка ягоды может привести к повышению эффективности сушки.

Можно предположить, что при мелкосерийном производстве фруктовых чипсов (около 9 т сырья в месяц) технология предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой может увеличить производство примерно на 1,1 т в месяц. Это может обеспечить дополнительный доход, который увеличит как норму прибыли, так и окупаемость инвестиций в оборудование низкотемпературной атмосферной плазмы. Разрабатываемые нашей исследовательской группой технологии предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой показывают большие перспективы, особенно в обеспечении текстурных и органолептических характеристик высушенных яблочных чипсов. Это происходит в результате использования стабилизированной формы распределения электрического поля.

Влияние обработки низкотемпературной атмосферной плазмой на структуру ткани. В последние десятилетия все больший интерес вызывает влияние систем ИК-сушки на сельскохозяйственную продукцию [6]. В данном исследовании с целью оценки эффективной диффузионной способности (D_{eff}) были построены зависимости натурального логарифма $ln(MR)$ от времени сушки (рис. 4). В таблице 1 показана зависимость между $ln(MR)$ и временем сушки для предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и контрольных яблочных чипсов, высушенных в ИК-сушилке. Взаимосвязь между $ln(MR)$ и временем сушки показывает высокую схожесть ($R^2 > 0,9$) для предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в ИК-режиме и контрольных яблочных чипсов. Однако диапазон рассчитанных значений D_{eff} между $1,4\times10^{-9}$ и $3,2\times10^{-9}$ м^2/с для образцов яблочных чипсов

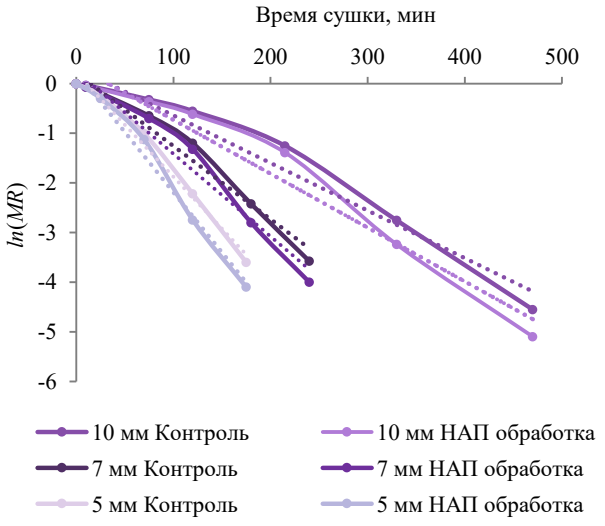


Рисунок 4. Зависимость между $ln(MR)$ и временем сушки для предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой (НАП) + ИК-сушкой и контрольных яблочных чипсов

Figure 4. Effect of drying time on $ln(MR)$ for apple slices pre-treated with cold atmospheric gas plasma and IR drying vs. control

Таблица 1. Зависимость между *ln*(*MR*) и временем сушки (*t*) для предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой + ИК-сушкой и контрольных яблочных чипсов

Table 1. Effect of drying time (*t*) on *ln*(*MR*) for apple slices pre-treated with cold atmospheric gas plasma and IR drying vs. control

Толщина образца, мм	Образец	Уравнение линейной регрессии	R^2
10	Контроль	$ln(MR) = -0.00016t + 0.31872$	0,964
	Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой	$ln(MR) = -0.00018t + 0.35640$	0,965
7	Контроль	$ln(MR) = -0.00025t + 0.21760$	0,969
	Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой	$ln(MR) = -0.00026t + 0.19833$	0,974
5	Контроль	$ln(MR) = -0.00035t + 0.21630$	0,984
	Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой	$ln(MR) = -0.00040t + 0.23694$	0,984

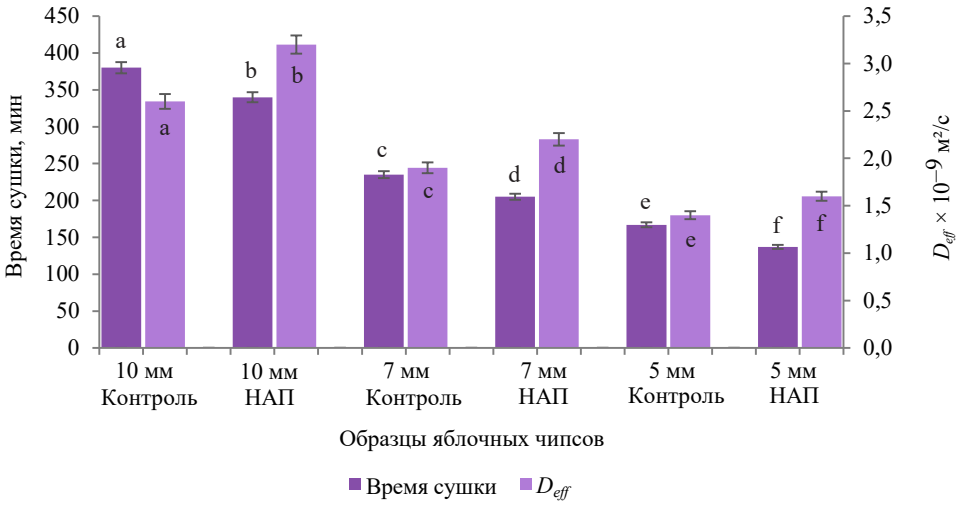


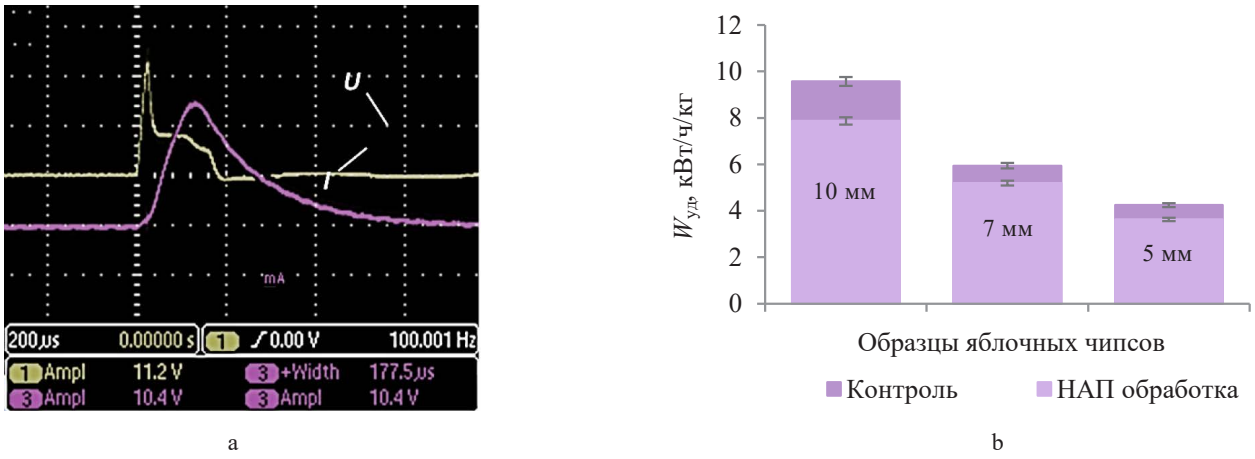
Рисунок 5. Оценка эффективной диффузионной способности в зависимости от толщины яблочных чипсов

Figure 5. Diffusion capacity depending on apple slice thickness

(рис. 5) отчасти согласуется с данными сушки, представленными F. Salehi и M. Satorabi, которые подтверждают диапазоны 10^{-11} и 10^{-9} м²/с [7]. Следовательно, увеличение значений D_{eff} до $3{,}2\times10^{-9}$ м²/с (~ 23,1 % увеличения) для предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в ИК-сушилке яблочных чипсов толщиной 10 мм (рис. 4) может подтвердить наличие электрически индуцированных каналов, полученных после обработки [18]. Изменения микроструктуры поверхности, вызванные предварительной обработкой низкотемпературной атмосферной плазмой + ИК-сушкой, могут ускорить перенос молекул воды на поверхность образца через модифицированную капиллярно-пористую структуру. Такие (микроструктурные) изменения могут привести к испарению влаги с поверхности, особенно в процессе сушки [9].

Различия в значениях D_{eff} для яблочных чипсов толщиной 5, 7 и 10 мм (рис. 5) могут свидетельствовать не только о более высоком удельном сопротивлении материала, но и об ограниченной проницаемости микроплазменного разряда. Это позволяет предположить, что влияние обработки низкотемпературной атмосферной плазмой на капиллярно-пористую структуру растительной ткани должно представлять интерес для дальнейшего изучения. Тем не менее минимизация энергопотребления является ключевым фактором для успешного промышленного применения при оптимизации процесса сушки.

Осциллограмма тока и напряжения разряда с предварительной обработкой низкотемпературной атмосферной плазмой со шкалой показана на рисунке 6a. Влияние предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой на удельное энергопотребление ($W_{уд}$) ИК-излучения, в зависимости от толщины яблочных чипсов, показано на рисунке 6b. Используя уравнение (9), осциллограмму тока и напряжения, рассчитали значение $W_{НАП}$. Общее удельное потребление энергии $W_{уд}$ для предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой яблочных чипсов было ниже, чем у контрольных образцов ($p < 0{,}05$). Значения $W_{уд}$ предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой зави-



a b

Рисунок 6. a – осциллограмма тока и напряжения разряда с предварительной обработкой низкотемпературной атмосферной плазмой (НАП); b – влияние предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой на удельное энергопотребление ($W_{уд}$) ИК-излучения в зависимости от толщины яблочных чипсов

Figure 6. Oscillogram of current and discharge voltage after preliminary cold atmospheric gas plasma processing (a); effect of cold atmospheric gas plasma pre-treatment on specific energy consumption ($W_{уд}$) of IR radiation depending on apple slice thickness (b)

Таблица 2. Значения цвета свежих и обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в ИК-сушилке яблочных чипсов

Table 2. Color values of fresh apple slices vs. experimental sample pre-treated with cold atmospheric gas plasma and IR-dried

Образец	Толщина образца, мм	L^*	a^*	b^*	ΔE
Контроль		$77{,}0 \pm 4{,}4^{a}$	$-2{,}5 \pm 0{,}9^{ab}$	$17{,}6 \pm 3{,}0^{a}$	–
Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой	5	$68{,}1 \pm 1{,}8^{c}$	$1{,}5 \pm 0{,}7^{ab}$	$23{,}35 \pm 1{,}23^{ab}$	$14{,}30 \pm 1{,}17^{a}$
	7	$70{,}4 \pm 1{,}6^{b}$	$-0{,}50 \pm 0{,}85^{ab}$	$19{,}51 \pm 1{,}27^{a}$	$19{,}25 \pm 1{,}27^{b}$
	10	$75{,}7 \pm 2{,}9^{a}$	$-1{,}68 \pm 0{,}54^{ab}$	$18{,}87 \pm 1{,}69^{a}$	$20{,}730 \pm 1{,}619^{bc}$
Обработка ИК-сушкой	5	$41{,}10 \pm 1{,}51^{e}$	$8{,}17 \pm 0{,}52^{c}$	$26{,}02 \pm 1{,}88^{abc}$	$39{,}58 \pm 0{,}86^{c}$
	7	$47{,}05 \pm 0{,}93^{d}$	$8{,}28 \pm 1{,}90^{ab}$	$24{,}32 \pm 2{,}77^{a}$	$34{,}57 \pm 1{,}46^{d}$
	10	$50{,}88 \pm 1{,}89^{bc}$	$6{,}33 \pm 0{,}88^{bc}$	$20{,}91 \pm 0{,}90^{de}$	$30{,}41 \pm 1{,}25^{f}$
Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой + ИК-сушкой	5	$36{,}49 \pm 0{,}90^{b}$	$8{,}49 \pm 1{,}08^{abc}$	$38{,}87 \pm 1{,}69^{a}$	$44{,}63 \pm 1{,}32^{g}$
	7	$41{,}93 \pm 1{,}44^{ef}$	$9{,}39 \pm 1{,}15^{bc}$	$30{,}08 \pm 2{,}55^{de}$	$39{,}20 \pm 1{,}44^{h}$
	10	$42{,}46 \pm 1{,}44^{c}$	$10{,}55 \pm 0{,}58^{a}$	$29{,}94 \pm 0{,}93^{f}$	$38{,}79 \pm 1{,}04^{e}$

Данные выражаются в виде среднего значения ± стандартное отклонение. Разные буквы в одной строке показывают, что средние значения отличаются при уровне достоверности 95 % ($p < 0{,}05$). L^* – светлота; a^* – диапазон цвета от зеленого до красного; b^* – диапазон цвета от синего до желтого; ΔE – разница в цвете.

Data are expressed as mean ± standard deviation. Different letters indicate that the means are different at a 95% confidence level ($p < 0.05$). L^* stands for lightness; a^* indicates the color range from green to red; b^* is the color range from blue to yellow; ΔE is the color difference.

сят от характеристик плазменного разряда. Сопротивление и напряжение увеличиваются с повышением толщины материала по мере уменьшения тока. Поскольку значения $W_{НАП}$ и $W_{ТЭ}$ ниже, чем $W_{ИК}$, то затратами энергией для предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой можно пренебречь, что характерно для текущего исследования. Эффективность предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой может привести к снижению энергопотребления сушки. Таким образом, применение обработки низкотемпературной атмосферной плазмой снижает удельное энергопотребление процесса сушки яблочных чипсов на 15–18 % в зависимости от толщины материала.

Цветовые параметры L^*, a^*, b^* и ΔE. Цвет играет важную роль в идентификации продукта, помимо визуального внешнего вида. Цвет пищевого продукта может изменяться в процессе его обработки, что помогает в определении его готовности. В данной работе значения цвета контрольных и предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой + высушенных в ИК-режиме яблочных чипсов показаны в таблице 2. По сравнению с контролем были обнаружены изменения ($p < 0{,}05$) в цветовых характеристиках L^*, a^*, b^* и ΔE. Значения L^* в пред-

варительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в ИК-сушилке яблочных чипсах снизились ($p < 0,05$) по сравнению с контролем. Это связано с явлением электропорации и внутриклеточного окисления [22]. Кроме того, сниженное значение L^*, по сравнению с контролем, может свидетельствовать о более темной ткани яблок, предварительно обработанной низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенной в ИК-сушилке. С помощью микроплазменного разряда предварительно обработанный низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенный в ИК-режиме яблочный чипс толщиной 5 мм отличался ($p < 0,05$) от чипсов с толщиной 7 и 10 мм. Это говорит о различных значениях D_{eff} (рис. 6) и предполагает ограниченную проницаемость проникновения низкотемпературной атмосферной плазмы через структуру ткани яблока. Время сушки контрольных и обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой образцов уменьшалось с сокращением начальной толщины яблочных чипсов.

Сравнивая образцы, предварительно обработанные низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенные в ИК-режиме, с контрольными образцами, значение b^* увеличилось (более глубокий желтый тон) в диапазоне от 12–25 %. Значения a^* и b^* для предварительно обработанного низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенного в ИК-режиме диска яблока толщиной 5 мм оказались выше ($p < 0,05$), чем для дисков толщиной 7 и 10 мм, а также для контроля. Такое повышение значений a^* обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в инфракрасном режиме яблочных чипсов может указывать на изменения в процессах карамелизации и на начальную стадию реакции Майяра, химическое окисление фенолов и окисление аскорбиновой кислоты. Кроме того, изменения значений ΔE между предварительно обработанными низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенными в ИК-режиме яблочными чипсами и другими чипсами могут указывать на инактивацию окислительных ферментов, которая произошла из-за дальнейшего воздействия кислорода (табл. 2). Плазменный разряд, неспособный полностью проникнуть в структуру ткани яблочных чипсов, препятствовал активации окислительных ферментов (полифенолоксидазы и пероксидазы). Основываясь на результатах, представленных в таблице 2, ΔE предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в ИК-сушилке яблочных чипсов может указать на образование новых (цветных) пигментов. Значения L^* и a^* для обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных яблочных чипсов увеличивались с повышением начальной толщины яблока, значения b^* и ΔE уменьшались.

Общее содержание фенолов (TPC) и флавоноидов (TFC). Отдельные области биологических растений содержат разное количество фитохимических веществ с различной биологической активностью. Среди них флавоноиды, фенольные соединения и т. д., способные подавлять чрезмерную выработку свободных радикалов [39]. В данной работе были изучены параметры TPC и TFC для предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой образцов, высушенных в ИК-сушилке, и контрольных образцов яблочных чипсов (табл. 3). После ИК-сушки содержание TPC в необработанных яблочных чипсах осталось неизменным, что соответствует ранее сообщенным данным (850 мг/100 г) [40]. TPC демонстрировал тенденцию к снижению с увеличением толщины материала (~ 854 мг/100 г для 7 мм и ~ 841 мг/100 г для 10 мм), достигая максимума при толщине 5 мм, предварительно обработанного низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенного в ИК-сушилке (~ 889 мг/100 г), но наименьшего для контрольного (~ 560 мг/100 г) образца яблочных чипсов. Этот факт может быть связан с дезинтеграцией клеточной мембраны, которая способствовала высвобождению фенольных соединений [40]. Относительно низкий TPC у яблочных чипсов, высушенных в ИК-сушилке, можно объяснить коротким временем сушки. У предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в ИК-сушке яблочных чипсов толщиной 5 мм TPC увеличивается на 14,3 % по сравнению с контрольным образцом. О подобном увеличении TPC сообщалось в других источниках. Например, когда к тканям яблок и моркови применяли обработку импульсным электрическим полем, а к яблочному соку – плазму диэлектрического барьерного разряда [41–43].

Фенольные соединения способствуют повышению питательных качеств/ценности растительных продуктов, они зарекомендовали себя в изменении аромата, цвета и вкуса [39]. Как показано в таблице 3, при ИК-сушке с предварительной обработкой низкотемпературной атмосферной плазмой толщина яблочных чипсов влияет на TFC ($p < 0,05$). Кроме того, различия в TFC являются приемлемыми при сравнении предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в ИК-сушилке яблочных чипсов толщиной 5 и 10 мм. На основании результатов, представленных в таблице 3, значения TPC и TFC уменьшались с увеличением начальной толщины яблока.

Кроме того, при ИК-сушке яблочных чипсов параметр TFC был наименьшим (~ 374 мг/100 г массы), тогда как в контрольном образце он был максимальным (~ 490 мг/100 г массы). Сравнивая предварительно обработанные низкотемпературной атмосферной плазмой + ИК-высушенные образцы с другими образцами, тенденция изменений

Таблица 3. Общее содержание фенолов (TPC) и флавоноидов (TFC), антирадикальная активность, а также параметр антиоксидантной способности в контрольных образцах яблочных чипсов и в образцах, предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой + ИК-сушкой и ИК-сушкой

Table 3. Total content of phenols, flavonoids, antiradical activity, and the antioxidant capacity parameter in samples pre-treated with cold atmospheric gas plasma + IR drying vs. IR drying vs. control apple slices

Образец	TPC, мг/100 г	TFC, мг/100 г	Антирадикальная активность, мг/мл	Антиоксидантная способность, ммоль/кг
Контроль	560,0 ± 11,7^{a}	490,0 ± 11,3^{a}	0,85 ± 0,06^{a}	27,65 ± 1,98^{a}
Обработка ИК-сушкой	706,0 ± 14,4^{b}	374,0 ± 10,5^{ab}	0,73 ± 0,05^{ab}	19,53 ± 1,69^{ab}
Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой + ИК-сушкой (5 мм)	889,0 ± 14,2^{b}	462,0 ± 12,1^{b}	0,98 ± 0,07^{b}	29,90 ± 2,27^{b}
Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой + ИК-сушкой (7 мм)	854,0 ± 13,2^{c}	409,0 ± 10,7^{c}	0,87 ± 0,06^{c}	28,72 ± 2,90^{c}
Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой + ИК-сушкой (10 мм)	841,0 ± 12,9^{d}	382,0 ± 13,3^{d}	0,81 ± 0,06^{cd}	22,12 ± 2,23^{d}

Данные выражаются в виде среднего значения ± стандартного отклонения. Разные буквы в одной строке показывают, что средние значения отличаются при уровне достоверности 95 % ($p < 0,05$). Условные обозначения: TPC – общее содержание фенолов; TFC – общее питание флавоноидов; DPPH – антиоксидантная активность; FRAP – восстанавливающая/антиоксидантная способность, снижающая содержание железа.

Data are expressed as mean ± standard deviation. Different letters indicate that the means are different at a 95% confidence level ($p < 0.05$). TPC stands for total phenol content; TFC indicates total nutrition of flavonoids; DPPH is antioxidant activity; FRAP is a repair/antioxidant ability to reduce iron content.

параметра TFC сопоставляется с изменениями параметров некоторых цветовых характеристик (табл. 2). Учитывая эти тенденции TFC и TPC, применение к яблочным чипсам предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой в сочетании с ИК-сушкой привело к частичной инактивации ферментов полифенолоксидазы. Это наблюдение требует дальнейших исследований, особенно механизмов, регулирующих взаимодействия между фенольными веществами и реакционноспособными микроплазменными формами. Кроме того, флавоноиды в яблоках остаются среди полифенолов, занимая около 45–48 % от общей антиоксидантной способности [21].

Анализ антирадикальной активности и антиоксидантной способности, снижающей содержание железа. Параметр антирадикальной активности, с одной стороны, как основа многих других биологических функций представляет собой способность биоактивного соединения поддерживать функцию и структуру клетки [44]. С другой стороны, параметр антирадикальной активности направлен на измерение антиоксидантной силы, основанной на восстановлении комплекса Fe^{3+} трипиридилтриазина ($Fe(TPTZ)^{3+}$), который при низком pH приобретает интенсивный синий цвет [45]. Результаты антирадикальной активности, измеренные с помощью метода DPPH и анализа антиоксидантной способности по методу FRAP, для предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в ИК-сушилке и контрольных яблочных чипсов представлены в таблице 3. Антирадикальная активность предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в ИК-сушилке яблочных чипсов продемонстрировала тенденцию к снижению с увеличением толщины материала. По сравнению с контрольным образцом для предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой яблочных чипсов значение антирадикальной активности увеличилось на 35,4, 32,1 и 11,8 % для 5, 7 и 10 мм соответственно. Это может быть объяснено ограниченной проницаемостью плазменного разряда для большой толщины яблочных чипсов. Характеристики плазмы, интенсивность, вид и тип были одними из факторов, влияющих на изменения антирадикальной активности [11]. Кроме того, более высокий антиоксидантный потенциал яблочной кожуры по отношению к ткани может дополнительно объяснить различия в антирадикальной активности после предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой в исследованных образцах.

Антиоксидантная способность стремится обеспечить кумулятивный эффект всех присутствующих антиоксидантов [45]. Параметр антирадикальной активности помогает продемонстрировать ингибирование реакций перекисного окисления липидов и эффективность, с помощью которой свободные радикалы могут быть очищены, а также степень предотвращения других окислительных повреждений [46]. В процессе предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой увеличение антирадикальной активности может быть

связано с утечкой биоактивных соединений на поверхность яблок, которые после этого испарились. Кроме того, на антирадикальную активность больше повлияла комбинированная предварительная обработка низкотемпературной атмосферной плазмой и ИК-сушкой, чем электрофизическая обработка импульсным электрическим полем. Мы придерживаемся этого мнения, потому что A. Wiktor и др. сообщили об увеличении антирадикальной активности на 10 % после обработки импульсным электрическим полем ткани яблока, тогда как A. Loureiro и др. сообщили о повышении антирадикальной активности на 80 % после предварительной обработки гранул Тукумы холодной плазмой [9, 47]. Кроме того, таблица 3 показывает, что, несмотря на ИК-сушку чипсов, предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой, антирадикальная активность и антиоксидантная способность уменьшаются с увеличением толщины чипсов. Сравнивая образцы яблочных чипсов, предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в инфракрасной сушке, и контрольных образцов, мы можем видеть сходную тенденцию антирадикальной активности, антиоксидантной способности и TPC, что демонстрирует вклад фенольных соединений в антирадикальную активность. Кроме того, влияние ИК-сушки образцов с предварительной обработкой низкотемпературной атмосферной плазмой на TPC, TFC, антирадикальную активность и антиоксидантную способность демонстрирует, в какой степени биологически активные компоненты могут сохраняться по сравнению с контрольным образцом. Что касается антиоксидантной способности, высвобождение Fe^{2+} из источника термоэлектронной эмиссии в результате электрохимических реакций может способствовать повышению данного параметра [47, 48].

Характерные полосы в спектрах FT-IR. ИК-спектроскопия относится к числу надежных методов, используемых в аналитической и биоаналитической химии. Спектроскопия FT-IR, подходящая для анализа широкого спектра пищевых продуктов, обеспечивает быструю, чувствительную и простую процедуру выявления компонентов образцов без участия стадий предварительного концентрирования/разделения [49]. Спектры FT-IR предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в ИК-режиме яблочных чипсов (черная линия) (толщиной 5 мм) и контрольного образца (пунктирная линия) показаны на рисунке 7, на котором представлены различные идентифицируемые деформационные колебания и растяжения (пики) в различных областях. Учитывая полученные пиковые значения при TPC (~ 889 мг/100 г) и TFC (~ 462 мг/100 г массы) (табл. 3), для спектров FT-IR был выбран предварительно обработанный низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенный в ИК-сушилке яблочный диск толщиной 5 мм. Данные FT-IR согласуются с известными функциональными группами. Наблюдаемая область полосы FT-IR 2800–3000 $см^{-1}$ ассоциируется с растяжением связей NH_3, O–H и C–H, что связано с колебательными контурами свободных аминокислот, фенольных соединений, карбоновых кислот и углеводов [29]. Часто анализ наборов спектральных данных, генерируемых средствами FTIR, может быть сложным, что наблюдается в данном исследовании.

Кроме того, на рисунке 7 показано, что наблюдаемая область полосы FT-IR 1800–700 $см^{-1}$ характерна для флавоноидов и фенольных соединений. Наблюдаемый FT-IR 1600 $см^{-1}$ соответствует характеристике этерифицированных и неэтерифицированных карбоксильных групп в пектинах, на ко-

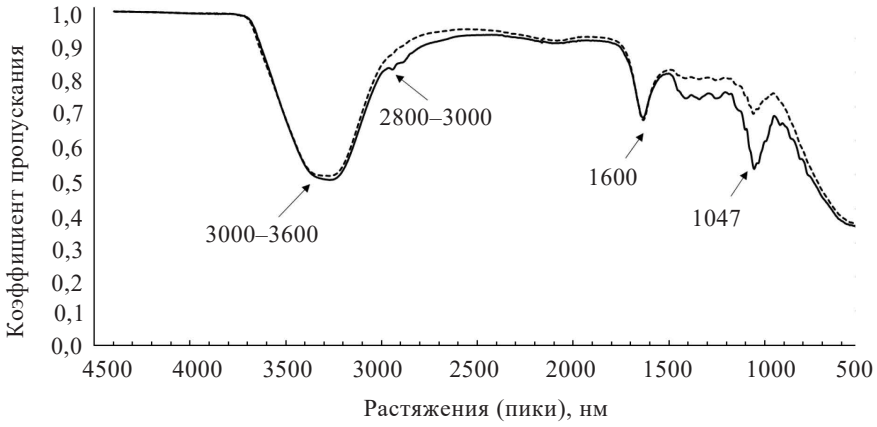


Рисунок 7. FT-IR спектры контрольного образца (пунктирная линия) и предварительно обработанных + высушенных в ИК-сушилке яблочных чипсов толщиной 5 мм (черная линия)

Figure 7. FT-IR spectra: control sample (dashed line) vs. 5-mm apple slices pre-treated with cold atmospheric gas plasma and IR-dried (black line)

торые может влиять деформационные колебания поглощенной воды, что может быть связано с вибрационным следствием C–C, O–H, C–H и C–O [30]. Количественные данные TPC и TFC (табл. 3) подтвердили амплитуды FTIR, наблюдаемые в этой области (1540–1175 $см^{-1}$). Авторы D. Wang и др. использовали FT-IR для подтверждения своих количественных данных TPC и TFC [16]. На рисунке 7 показан пик FT-IR при 1047 $см^{-1}$, который отображается как вибрация характерных групп в целлюлозе, что предполагает влияние небольшого количества полисахаридов. Некоторые полосы одного вещества будут перекрываться и находиться под влиянием полос в соседних положениях [30]. Пик FT-IR (рис. 7) ослабляется после предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой с ИК-сушкой. Это может свидетельствовать об увеличении интенсивности поглощения, образующегося за счет двух OH молекул воды, поглощенных целлюлозой. Данные ИК-спектроскопии предоставили дополнительную информацию, касающуюся химических изменений, происходящих в пределах толщины 5 мм предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой и высушенных в ИК-сушилке яблочных чипсов по сравнению с контрольным образцом.

Выводы

Провели исследование применения интеллектуальной технологии обработки низкотемпературной атмосферной плазмой для ускорения процесса сушки яблочных чипсов с сохранением качества получаемого продукта. Экспериментально установлено, что предварительная обработка низкотемпературной атмосферной плазмой в сочетании с ИК-сушкой влияет на кинетику сушки, цвет, биологически активные соединения и антирадикальную активность яблочных чипсов. Установлено, что применение обработки низкотемпературной атмосферной плазмой снижает удельное энергопотребление процесса сушки яблочных чипсов на 15–18 % в зависимости от толщины материала. Помимо сокращения времени сушки и уменьшения общего энергопотребления, предварительная обработка низкотемпературной атмосферной плазмой + ИК-сушка влияет на цветовые характеристики, биологически активные соединения (TPC и TFC), антирадикальную активность и антиоксидантную способность. Большинство показателей качества продемонстрировали тенденцию к снижению с увеличением толщины материала для образцов, предварительно обработанных низкотемпературной атмосферной плазмой. Спектры FT-IR выявили изменения в биологически активных соединениях и биохимических реакциях, а также в механизмах, регулирующих взаимодействие между фенольными веществами и реакционноспособными видами плазмы.

Эти эффекты и гипотезы требуют дальнейших исследований. Процедура предварительной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой может быть рекомендована при производстве яблочных чипсов перед этапом сушки, учитывая факт последующего сокращения времени сушки и сохранения биологически активных соединений. Направление будущих исследований будет заключаться в изучении влияния других характеристик низкотемпературной атмосферной плазмы, таких как частота и скорость движения катода, на эффективность сушки и качественные характеристики яблок, а также другой плодоовощной продукции.

Критерии авторства

М. Д. Соснин занимался проведением лабораторных экспериментов и расчетом основных показателей качества яблочных чипсов. И. А. Шорстkий руководил проектом.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

M.D. Sosnin performed laboratory experiments, calculating the main indicators of the quality of apple chips. I.A. Shorstkii directed the project.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

References/Список литературы

1. Amanor-Atiemoh R, Zhou C, Mujumdar A, Osae R, Taiye Mustapha A, Wahia H, *et al.* Effect of simultaneous dual-frequency ultrasound aided ethanolic pretreatment on drying kinetics, bioactive compounds, antioxidant activity, and physicochemical properties of apple slices using pulsed vacuum dryer. Journal of Food Process Engineering. 2020;43(11). https://doi.org/10.1111/jfpe.13535

2. Samoylov AV, Suraeva NM, Zaytseva MV, Petrov AN. Bioassay of oxidative properties and toxic side effects of apple juice. Foods and Raw Materials. 2022;10(1):176–184. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-176-184.

3. Czernyszewicz E. Long-term trends in production and consumption of apples in Poland, Europe and worldwide. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus. 2016;15(3):95–104.

4. Velickova E, Winkelhausen E, Kuzmanova S. Physical and sensory properties of ready to eat apple chips produced by osmo-convective drying. Journal of Food Science and Technology. 2014;51(12):3691–3701. https://doi.org/10.1007/s13197-013-0950-x

5. Zielinska M, Ropelewska E, Zapotoczny P. Effects of freezing and hot air drying on the physical, morphological and thermal properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon*). Food and Bioproducts Processing. 2018;110:40–49. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.04.006

6. Verboloz EI, Ivanova MA, Demchenko VA, Fartukov S, Evona NK. Ultrasound drying of rose hips: A process study. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):79–86. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-79-86

7. Salehi F, Satorabi M. Influence of infrared drying on drying kinetics of apple slices coated with basil seed and xanthan gums. International Journal of Fruit Science. 2021;21(1):519–527. https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1908202

8. Bassey EJ, Cheng J-H, Sun D-W. Novel nonthermal and thermal pretreatments for enhancing drying performance and improving quality of fruits and vegetables. Trends in Food Science and Technology. 2021;112:137–148. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.045

9. Loureiro AC, Souza FCA, Sanches EA, Bezerra JA, Lamarão CV, Rodrigues S, *et al.* Cold plasma technique as a pretreatment for drying fruits: Evaluation of the excitation frequency on drying process and bioactive compounds. Food Research International. 2021;147. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110462

10. Wiktor A, Witrowa-Rajchert D. Drying kinetics and quality of carrots subjected to microwave-assisted drying preceded by combined pulsed electric field and ultrasound treatment. Drying Technology. 2020;38(1–2):176–188. https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1642347

11. Karim N, Shishir MRI, Bao T, Chen W. Effect of cold plasma pretreated hot-air drying on the physicochemical characteristics, nutritional values and antioxidant activity of shiitake mushroom. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2021;101(15):6271–6280. https://doi.org/10.1002/jsfa.11296

12. Tappi S, Berardinelli A, Ragni L, Dalla Rosa M, Guarnieri A, Rocculi P. Atmospheric gas plasma treatment of fresh-cut apples. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2014;21:114–122. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.09.012

13. Lammerskitten A, Mykhailyk V, Wiktor A, Toepfl S, Nowacka M, Bialik M, *et al.* Impact of pulsed electric fields on physical properties of freeze-dried apple tissue. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2019;57. https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.102211

14. Lv W, Lv H, Jin X, Cui Z, Su D. Effects of ultrasound-assisted methods on the drying processes and quality of apple slices in microwave drying. Drying Technology. 2020;38(13):1806–1816. https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1666274

15. Shalunov AV, Khmelev VN, Terentiev SA, Nesterov VA, Golykh RN. Ultrasonic dehydration of food products with moisture removal without phase transition. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):363–373. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-363-373

16. Wang D, Dai J-W, Ju H-Y, Xie L, Xiao H-W, Liu Y-H, *et al.* Drying kinetics of American ginseng slices in thin-layer air impingement dryer. International Journal of Food Engineering. 2015;11(5):701–711. https://doi.org/10.1515/ijfe-2015-0002

17. Shorstkij IA. Method for vegetal material preparation for drying and device for its implementation. Russia patent 2727915C1. 2020.

18. Shorstkii I. Application of cold filamentary microplasma pretreatment assisted by thermionic emission for potato drying. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2020;66. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102540

19. Khudyakov DA, Sosnin MD, Munassar EMA, Techakanon C, Siemer C, Toepfl S, *et al.* Pulsed electric field processing as an effective tomato peeling method. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(1):189–198. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-189-198

20. Petković M, Filipović V, Filipović I, Lukyanov A, Studennikova S, Mardasova EA. Modeling of carrot thin layer convective drying process. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021;1029. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1029/1/012046

21. Liu Z, Song Y, Guo Y, Wang H, Wu Z. Influence of pulsed electric field pretreatment on vacuum freeze-dried apples and process parameter optimization. Advance Journal of Food Science and Technology. 2017;13(6):224–235. https://doi.org/10.19026/ajfst.13.5160

22. Miraei Ashtiani SH, Rafiee M, Mohebi Morad M, Khojastehpour M, Khani MR, Rohani A, *et al.* Impact of gliding arc plasma pretreatment on drying efficiency and physicochemical properties of grape. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2020;63. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102381

23. Arustamov VN, Ashurov KhB, Kadyrov KhKh, Khudoikulov IKh. Complex technology of vacuum-arc processing of structural material surface. Technical Physics. 2015;60(8):1208–1213. https://doi.org/10.1134/S1063784215080022

24. Wang J, Yuan X, Jin Z, Tian Y, Song H. Free radical and reactive oxygen species scavenging activities of peanut skins extract. Food Chemistry. 2007;104(1):242–250. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.035

25. Faria GYY, Souza MM, Oliveira JRM, Costa CSB, Collares MP, Prentice C. Effect of ultrasound-assisted cold plasma pretreatment to obtain sea asparagus extract and its application in Italian salami. Food Research International. 2020;137. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109435

26. Roginsky V, Lissi EA. Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. Food Chemistry. 2005;92(2):235–254. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.004

27. Parniakov O, Rosello-Soto E, Barba FJ, Grimi N, Lebovka N, Vorobiev E. New approaches for the effective valorization of papaya seeds: Extraction of proteins, phenolic compounds, carbohydrates, and isothiocyanates assisted by pulsed electric energy. Food Research International. 2015;77:711–717. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.031

28. Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. Analytical Biochemistry. 1996;239(1):70–76. https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292

29. Amanor-Atiemoh R, Zhou C, Abdullaleef Taiye M, Sarpong F, Wahia H, Amoa-Owusu A, *et al.* Effect of ultrasound-ethanol pretreatment on drying kinetics, quality parameters, functional group, and amino acid profile of apple slices using pulsed vacuum drying. Journal of Food Process Engineering. 2019;43(2). https://doi.org/10.1111/jfpe.13347

30. Szymanska-Chargot M, Chylinska M, Kruk B, Zdunek A. Combining FT-IR spectroscopy and multivariate analysis for qualitative and quantitative analysis of the cell wall composition changes during apples development. Carbohydrate Polymers. 2015;115:93–103. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.039

31. Enciso L, Gun M, Ruiz MS, Razzitte AC. Entropy in multifractal non equilibrium structures of dielectric breakdown. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment. 2019;9. https://doi.org/10.1088/1742-5468/ab38bd

32. Lin R, Xie B, Du C, Hang W, Huang B. Pulsed micro-discharge ambient ionization mass spectrometry. International Journal of Mass Spectrometry. 2018;434:123–129. https://doi.org/10.1016/j.ijms.2018.09.011

33. Zhang X-L, Zhong C-S, Mujumdar AS, Yang X-H, Deng L-Z, Wang J, *et al.* Cold plasma pretreatment enhances drying kinetics and quality attributes of chili pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal of Food Engineering. 2019;241:51–57. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.002

34. Zhou Y-H, Vidyarthi SK, Zhong C-S, Zheng Z-A, An Y, Wang J, *et al.* Cold plasma enhances drying and color, rehydration ratio and polyphenols of wolfberry via microstructure and ultrastructure alteration. LWT. 2020;134. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110173

35. Shorstkii I, Koshevoi E. Drying Technology assisted by nonthermal pulsed filamentary microplasma treatment: Theory and practice. ChemEngineering. 2019;3(4). https://doi.org/10.3390/chemengineering3040091

36. Wiktor A, Iwaniuk M, Śledź M, Nowacka M, Chudoba T, Witrowa-Rajchert D. Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field. Drying Technology. 2013;31(1):112–119. https://doi.org/10.1080/07373937.2012.724128

37. Hnin KK, Zhang M, Mujumdar AS, Zhu Y. Emerging food drying technologies with energy-saving characteristics: A review. Drying Technology. 2019;37(12):1465–1480. https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1510417

38. Bußler S, Ehlbeck J, Schlüter OK. Pre-drying treatment of plant related tissues using plasma processed air: Impact on enzyme activity and quality attributes of cut apple and potato. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2017;40:78–86. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.05.007

39. Tian W, Chen G, Gui Y, Zhang G, Li Y. Rapid quantification of total phenolics and ferulic acid in whole wheat using UV–Vis spectrophotometry. Food Control. 2021;123. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107691

40. Ertekin Filiz B, Seydim AC. Kinetic changes of antioxidant parameters, ascorbic acid loss, and hydroxymethyl furfural formation during apple chips production. Journal of Food Biochemistry. 2018;42(6). https://doi.org/10.1111/jfbc.12676

41. Roobab U, Abida A, Chacha JS, Athar A, Madni GM, Ranjha MMAN, *et al.* Applications of innovative non-thermal pulsed electric field technology in developing safer and healthier fruit juices. Molecules. 2022;27(13). https://doi.org/10.3390/molecules27134031

42. Alam MR, Lyng JG, Frontuto D, Marra F, Cinquanta L. Effect of pulsed electric field pretreatment on drying kinetics, color, and texture of parsnip and carrot. Journal of Food Science. 2018;83(8):2159–2166. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14216

43. Farias TRB, Rodrigues S, Fernandes FAN. Effect of dielectric barrier discharge plasma excitation frequency on the enzymatic activity, antioxidant capacity and phenolic content of apple cubes and apple juice. Food Research International. 2020;136. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109617

44. Zou Z, Xi W, Hu Y, Nie C, Zhou Z. Antioxidant activity of *Citrus* fruits. Food Chemistry. 2016;196:885–896. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.072

45. Hsieh C, Rajashekaraiah V. Ferric reducing ability of plasma: A potential oxidative stress marker in stored plasma. Acta Haematologica Polonica. 2021;52(1):61–67. https://doi.org/10.5603/AHP.2021.0009

46. Wiktor A, Śledź M, Nowacka M, Chudoba T, Witrowa-Rajchert D. Pulsed electric field pretreatment for osmotic dehydration of apple tissue: Experimental and mathematical modeling studies. Drying Technology. 2014;32(4):408–417. https://doi.org/10.1080/07373937.2013.834926

47. Shorstkii IA, Yakovlev N. Experimental studies of a townsend discharge with a multi-point cathode on a dynamic platform of magnetically controlled Fe and Fe-Al particles. Technical Physics. 2021;91(8):1276–1285. https://doi.org/10.1134/S1063784221080144

48. Kumar K, Giehl A, Patz C-D. Chemometric assisted Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopic analysis of fruit wine samples: Optimizing the initialization and convergence criteria in the non-negative factor analysis algorithm for developing a robust classification model. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2019;209:22–31. https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.10.024

49. Masek A, Chrzescijanska E, Kosmalska A, Zaborski M. Characteristics of compounds in hops using cyclic voltammetry, UV-VIS, FT-IR and GC-MS analysis. Food Chemistry. 2014;156:353–361. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.005

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2440
https://elibrary.ru/THVKNB

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Применение нейронной сети для управления системой домашней гидропоники

Д. М. Бородулин, А. В. Шафрай, А. А. Максименко*

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 13.12.2022
Принята после рецензирования: 10.01.2023
Принята к публикации: 07.02.2023

**А. А. Максименко: sasha-maksimienko@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6408-9839*
Д. М. Бородулин: https://orcid.org/0000-0003-3035-0354
А. В. Шафрай: https://orcid.org/0000-0003-4512-1933

© Д. М. Бородулин, А. В. Шафрай, А. А. Максименко, 2023

Аннотация.
Метод беспочвенного культивирования растений, называемый гидропоникой, является перспективным способом обеспечения населения продуктами растительного происхождения. Гидропонное производство характеризуется эффективным управлением водными ресурсами, сокращением вегетационного периода роста растений, низким уровнем их заболеваемости и поражения насекомыми, а также круглогодичным циклом выращивания. Однако существуют сложности в конструировании, эксплуатации и обслуживании гидропонных установок. В сельском хозяйстве все чаще применяются технологии на базе нейронных сетей, способные управлять технологическими процессами. Цель работы заключалась в применении нейронной сети для повышения эффективности выращивания растений в системе домашней гидропоники.
В исследовании использовалась установка гидропоники питательного слоя, в которую высаживались растения вида *Lactuca sativa* в количестве 10 штук. С помощью датчиков собиралась информация о температуре и влажности воздуха, освещенности растений и температуре поверхности листа. Обработка данных, обучение нейронной сети и программирование микроконтроллера проводились с помощью языка программирования Python 3, используя фреймворки PyTorch и MicroPython соответственно.
Наиболее эффективной архитектурой нейронной сети для решения поставленной задачи управления оказался четырехслойный персептрон. Данный тип архитектуры широко используется в качестве механизма управления. В экспериментах с меньшим количеством слоев нейронная сеть показала высокий уровень ошибки, который составил более 5 %. При увеличении слоев выше четырех ошибка обученной нейронной сети осталась на уровне четырехслойной и составила 0,2 %. Дальнейшие практические испытания обученной нейронной сети показали повышение энергоэффективности на 32,3 % по сравнению с классическим алгоритмом управления при близких значениях транспирации растений.
Данная технология может быть применена для интеграции в энергосберегающие жилые помещения и системы умного дома с целью повышения самообеспечения населения продуктами растениеводства.

Ключевые слова. Гидропоника, технологии растениеводства, современное растениеводство, автоматизация процесса

Финансирование. Исследование было проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием Кемеровского государственного университета (КемГУ) в рамках соглашения № 075-15-2021-694 от 05.08.2021, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) и КемГУ (уникальный идентификатор контракта RF----2296.61321X0032).

Для цитирования: Бородулин Д. М., Шафрай А. В., Максименко А. А. Применение нейронной сети для управления системой домашней гидропоники // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 384–395. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2440

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2440
https://elibrary.ru/THVKNB

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Neural Network and Home Hydroponics

Dmitry M. Borodulin, Anton V. Shafrai, Alexander A. Maximenko*

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Received: 13.12.2022
Revised: 10.01.2023
Accepted: 07.02.2023

**Alexander A. Maximenko: sasha-maksimienko@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6408-9839*
Dmitry M. Borodulin: https://orcid.org/0000-0003-3035-0354
Anton V. Shafrai: https://orcid.org/0000-0003-4512-1933

© D.M. Borodulin, A.V. Shafrai, A.A. Maximenko, 2023

Abstract.
Hydroponics is a method of soilless cultivation of plants. It shortens the vegetation period, reduces the risk of disease and insect infestation, and provides a year-round growing cycle. Hydroponics depends on efficient water management. It is associated with a complex design, operation, and maintenance. Neural networks can control complex technological processes in agriculture. The research objective was to use a neural network to increase the efficiency of a home hydroponics system.
The study involved a nutrient bed hydroponics setup with ten *Lactuca sativa* plants. Sensors collected information about the temperature and humidity of air, illumination, and the temperature of the leaf surface. Data processing, neural network training, and microcontroller programming relied on Python 3, PyTorch, and MicroPython.
The four-layer perceptron, which is a popular control mechanism, turned out to be the most effective neural network architecture. Fewer layers resulted in a high error rate (≥ 5%). When the number of layers was > 4, the error level remained at that of the four-layer experiment (0.2%). Further practical tests showed an increase in energy efficiency by 32.3%, compared to the classical control algorithm at close values of plant transpiration.
Neural net technology could be integrated into energy-saving residential premises and smart home systems in order to increase the self-sufficiency of hydroponics installations.

Keywords. Hydroponics, plant growing technologies, modern plant growing, process automation

Funding. The research was conducted on the premises of the Research Equipment Sharing Center, Kemerovo State University (KemSU), based on agreement No. 075-15-2021-694, August 5, 2021, between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauki) and KemSU (contract identifier: RF----2296.61321X0032).

For citation: Borodulin DM, Shafrai AV, Maximenko AA. Neural Network and Home Hydroponics. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):384–395. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2440

Введение

Сельское хозяйство и пищевая промышленность столкнулись с множеством проблем, возглавляет которые рост численности населения [1, 2]. Прогнозируемые темпы роста общемирового потребления всей сельскохозяйственной продукции составляют 1,1 % в год, а к 2050 г. они достигнут 60 % от текущего уровня потребления [3]. Наличие природных ресурсов, таких как пресная вода и продуктивные пахотные земли, становится ограниченным.

Согласно исследованию, проведенному немецкими учеными, только из-за урбанизации приблизительные потери пахотных земель составят 5–6 % (8–9 млн га) при падении их продуктивности на 8–10 % (128–153 Пкал) в период с 2000 по 2030 гг. [4]. Стоит учитывать антропогенные и климатические факторы, к которым относится накопление вредных макро- и микроэлементов в растениях [5].

Анализируя вышесказанное, можно сделать вывод о том, что в текущем десятилетии большинству стран будет необходима «цифровая сельскохозяйственная революция», т. е. поиск новых подходов в агропроизводстве и его симбиоз с технологиями IT-индустрии, а также модернизация существующих сельскохозяйственных предприятий [6].

Согласно прогнозу научно-технологического развития АПК в РФ до 2030 г. ожидается резкий скачок в развитии технологии урбанизированного сельского хозяйства, т. е. производства продуктов питания в городах в вертикальных фермах и роботизированных теплицах. Под «урбанизированным сельхозпроизводством» подразумевается эффективное,

высокотехнологичное, частично или полностью климатонезависимое городское всесезонное производство сельскохозяйственной продукции в искуственных условиях ферм внутри зданий или в естественных условиях на открытом воздухе преимущественно без использования почв (на питательных растворах) с применением искусственного освещения вместе с высоким уровнем автоматизации процесса производства.

Такие системы позволяют создать как частичное, так и полноценное самообеспечение городов широким спектром продуктов сельского хозяйства. Описанные выше решения не находят широкого применения в России, но могут быть полезны для повышения продовольственной безопасности удаленных северных городов [7].

Можно выделить следующие предпосылки, определяющие развитие урбанизированного сельского хозяйства, наблюдаемые в последние годы:

1. Запрос жителей городов на альтернативную систему самообеспечения продуктами питания. Цель такого запроса может быть разная. Для одной группы – это вопрос расширения доступа к качественным и свежим продуктам питания круглый год, для другой – это вопрос самообеспечения продовольствием для выживания;

2. Технологии производства продуктов питания стали доступнее в последнее десятилетие. Четвертая промышленная революция открывает необходимые для этого знания благодаря развитию и распространению информационных коммуникаций (Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 12.01.2017 № 3 «О Прогнозе научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года»).

Основой развития урбанизированного сельского хозяйства является запрос на здоровую пищу. Устойчивое развитие рынка экологических продуктов связывают с запросами молодежи, являющейся мотивированной на здоровый образ жизни, индивидуализацию рациона питания и «здоровое» питание группой населения [8]. Основными продуктами, входящими в термин «правильное питание», являются зелень, овощи, лекарственные и пряные травы [9]. Присутствие данных продуктов в рационе повышает его пищевую ценность, удовлетворяя потребность в необходимых макро- и микронутриентах, а также в минорных компонентах пищи.

Технологии сити-фермерства предлагают работоспособное решение в ответ на проблемы и запросы современного общества, поскольку сочетают в себе такие области, как биотехнология, автоматизация, роботизация и искусственный интеллект. Их применение порождает изменения в агропромышленном секторе, которые превращают «традиционное» сельское хозяйство в высокотехнологичную отрасль (AgTech) [10].

Одной из наиболее популярных технологий сити-фермерства является гидропоника – это технология выращивания растений на питательных средах без использования грунта. Существуют несколько систем, входящих в данную технологию. В исследовании были рассмотрены наиболее распространенные: глубоководная культура (DWC), Nutrient Film Technique (NFT или технология питательной пленки), технология капельного полива и аэропоника. Существуют другие системы, но они являются вариациями или сочетанием вышеупомянутых четырех типов.

Для создания автоматизированного комплекса гидропоники под управлением нейронных сетей требуется провести анализ и определить параметры окружающей среды, влияющие на рост растения. Это необходимо для разработки и сборки испытательного стенда гидропоники, который бы удовлетворял требованиям полноты получаемых данных о состоянии микроклимата помещения, в котором располагается система.

Реализовать максимальный потенциал растений при выращивании в открытом грунте сложно из-за влияния множества лимитирующих факторов, определяющих рост растений в почве. Управлять этими параметрами в открытом грунте практически невозможно [11].

При выращивании в почве растениям требуется регулярное питание и увлажнение, при этом велик риск их гибели из-за неблагоприятных погодных условий (град, проливные дожди, заморозки и т. п.). При использовании гидропоники растения защищены от воздействия неблагоприятных условий. Также осуществляется поддержка постоянных значений климатических факторов и регулярное получение необходимых питательных веществ. Это дает растению возможность тратить силы на быстрый рост, цветение и формирование максимального урожая с улучшенными питательными и вкусовыми качествами [12].

Стоит выделить следующие факторы, влияющие на рост и развитие растения:

1. Температура воздуха. Наиболее интенсивно питательные вещества потребляются растениями при температуре от 25 до 30 °C. При температуре выше 35 °C начинается инактивация ферментов, ответственных за поглощение питательных веществ. При температуре ниже 15 °C все физиологические процессы замедляются. Температура воздуха важна для растения, но подстраивать ее для конкретного вида затратно, что является критичным фактором для небольших домашних оранжерей. Достаточно контролировать температуру для того, чтобы растения не оказались в экстремальных условиях из-за непредвиденных ситуаций.

2. Влажность воздуха и концентрация CO_2. Во влажной среде у растений листья вырастают крупнее, чем в сухой. Контрольные эксперименты показали,

что максимальный рост листья растений имеют при влажности 65–75 %. Черенкам требуется около 90 % влажности, а семена лучше прорастают при 60 %. Данным параметром часто пренебрегают в небольших системах, поскольку достичь оптимального уровня влажности в них затруднительно.

Растение – единственный организм, способный питаться солнечным светом. В процессе фотосинтеза ему необходимо потреблять углекислый газ (CO_2), воду и световую энергию для синтеза углеводов, которые переносятся туда, где в них испытывается потребность. Есть много способов поддержания CO_2, самым популярным среди которых является установка газовых горелок и баллонов с газом.

Углекислый газ опасен, причем смертельно. У него нет запаха, поэтому без специального прибора его невозможно обнаружить. Если обогащать им помещение, то придется устанавливать вытяжной вентилятор.

Контролировать влажность и концентрацию углекислого газа затратно для домашней оранжереи, поэтому достаточно отслеживать влажность. Контроль за концентрацией углекислого газа неэффективен в домашней системе гидропоники.

3. Кислотность и электропроводность питательного раствора. Поскольку значение pH может влиять на фотосинтетическую активность растений, то в водном растворе его следует контролировать, чтобы избежать повреждения растения [13].

Все растения на гидропонике выращиваются в слегка кислой среде, независимо от того, какой pH они предпочитают в грунте. Для этого существуют разные причины, главная из них заключается в том, что при pH = 7 и выше из раствора осаждается железо. Поэтому максимально высокий допустимый pH составляет около 6,8. Однако в замкнутых системах лучше поддерживать его ниже 6,5, чтобы избежать нехватки марганца [14].

Для контроля данных параметров требуются дорогостоящие приборы. Многие фермеры, работающие с гидропоникой, готовя стандартный питательный раствор, не отслеживают параметры кислотности и электропроводности, поскольку скорость их изменения низкая и критически не влияет на процесс роста.

4. Аэрация корней. Аэрация корневой зоны важна для растений, поскольку обеспечивает корни кислородом, необходимым для дыхания. Растения могут использовать только растворенный в питательном растворе кислород. Аэрацию питательного раствора следует осуществлять круглосуточно, поскольку растениям требуется максимальное количество кислорода.

5. Освещение. Жизнь растений зависит от света из-за двух факторов: он обеспечивает энергию для производства органического вещества при фотосинтезе и воспринимается как морфогенетический стимул. Основными параметрами, влияющими на рост растений, являются качество и интенсивность света, фотопериод и смена дня и ночи. Этими параметрами можно управлять в тепличных условиях с помощью искусственных источников света.

Освещение – это один из наиболее доступных с точки зрения затрат фактор, т. к. контроль за ним позволит получать большое количество урожая.

Из всех физиологических характеристик выращиваемых растений необходимо обратить внимание на эффект транспирации. Транспирация – это процесс движения воды через растение и ее испарение через наружные органы растения, такие как листья, стебли и цветки. Транспирация является пассивным механизмом, который опирается на постоянно присутствующие комбинированные силы осмоса, гравитации и поверхностного натяжения воды, управляющие движением воды по всему растению.

Воздух способен удерживать только определенное количество водяного пара при данной температуре, прежде чем он начнет конденсироваться обратно в жидкую воду. Максимальное количество водяного пара, которое воздух может удерживать при определенной температуре, называется «давление насыщенного пара». По мере того как воздух становится более горячим, количество воды, которое он может удерживать, увеличивается. При остывании происходит уменьшение количества воды в воздухе.

В основе расчета транспирации лежит дефицит давления пара (VPD), контроль за которым важен для выращивания растения. Правильная настройка параметров гидропоники даст наилучшие результаты с учетом влияния VPD, который связан со следующими процессами:

– регулирование растением открытия и закрытия устьиц;
– регулирование поглощения CO_2;
– регулирование поступления питательных веществ к корням.

При увеличении VDP и транспирации корни втягивают больше питательных веществ. Таким образом, существует сложный компромисс между VPD и другими факторами. Можно увеличить количество поглощаемого растением CO_2, но уменьшить количество питательных веществ, или увеличить количество питательных веществ, но подвергнуть растение стрессу. VPD – мощный инструмент для управления растением, которым пользуются многие ученные и садоводы со всего мира.

Начиная с конца прошлого века, изучением возможностей автоматизации и применения нейронных сетей и других методов искусственного интеллекта в точном сельском хозяйстве, а также гидропонном выращивании занимались отечественные и зарубежные ученные.

Одними из первых исследования провели японские ученые Т. Моримото, Ю. Хашимото и др. в конце прошлого века. Их работы [15–17] были посвящены

созданию и развитию компьютерно-интегрированного сельскохозяйственного производства. В работе [17] было предложено устанавливать физиологические отклонения и заболевания растений по их внешнему виду без применения компьютерного зрения. Определение осуществлялось после ввода рабочим в компьютер описания внешнего вида растения, на основании чего нейронная сеть выдавала предположение о имеющейся патологии. Данная работа показала эффект от симбиоза автоматизированного управления, сбора данных с датчиков и их использования в нейронной сети. Сельскохозяйственное предприятие, использующее данную технологию, получило в 3,3 раза больше урожая, чем без нее.

В одной из работ нейронная сеть использовалась для прогнозирования площади листа как показателя динамики роста растения в зависимости от освещенности и концентрации питательных веществ в питательном растворе [15]. Результаты показали, что предсказанная площадь листа практически полностью совпадает с наблюдаемой. По мнению авторов, это позволит более эффективно контролировать рост растений.

В результате расцвета эры искусственного интеллекта в начале XXI в. появились публикации, в которых авторы использовали различные архитектуры и виды нейронных сетей для изучения факторов, влияющих на рост растений, и обработки собранных в процессе роста данных для формирования дальнейшего управляющего воздействия на рабочие органы гидропоники [18–23]. Совместно с нейронными сетями часто используют технологию интернета вещей (IoT), которая позволяет по Wi-Fi передавать собранные данные с микроконтроллера на компьютер через сервер, что эффективно в условиях большого количества датчиков на предприятии [23–26].

Большая часть этих исследований охватывает модификацию установок промышленной гидропоники и не учитывает применение нейронных сетей для систем домашней гидропоники или небольших сити-ферм.

Целью работы являлось исследование возможности и эффективности внедрения нейронных сетей в качестве системы управления системой домашней гидропоники.

Предметом исследования стала совокупность теоретических, методологических и практических задач по созданию интеллектуального комплекса адаптивного управления параметрами работы гидропоники, а также соответствующее информационное, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение.

В задачи исследования вошли:
– анализ различных видов конструкций гидропоники для выбора оптимальной в качестве исследовательского стенда;
– оценка факторов окружающей среды, которые необходимо учитывать при проектировании системы датчиков и проведении эксперимента;
– разработка и создание исследовательского стенда гидропоники, выбор вида растения и питательного раствора;
– сбор экспериментальных данных с испытательного стенда;
– построение и обучение нейронной сети, определение ее эффективности;
– внедрение обученной нейронной сети в систему управления гидропоникой.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования на разных этапах работы использовались:
– транспирация растения вида *Lactuca sativa.* Данный вид отличается быстрым ростом и крупным размером листьев, что позволяет эффективнее и качественнее получать данные о состоянии растения;
– обученная нейронная сеть для оптимизации системы управления гидропоникой.

Систему гидропоники собрали по технологии питательной пленки (NFT). Принцип работы заключается в циркуляции питательного раствора через корни растения, располагающиеся в специальном лотке (рис. 1).

В системе умной гидропоники использовали следующие датчики и исполнительные устройства:

1. Измерение температуры и влажности производилось датчиком BME280, который измеряет температуру в диапазоне от 0 до 85 °C. Он имеет низкое энергопотребление, высокую точность и стабильность работы, что позволяет использовать данный датчик для мониторинга окружающей среды;

2. Измерение температуры листа растения проводилось инфракрасным датчиком MLX90640. Термометр передает измеряемую температуру в диапазоне от –20 до 120 °C со выходным разрешением 0,14 °C. Связь с устройством реализуется по шине I2C;

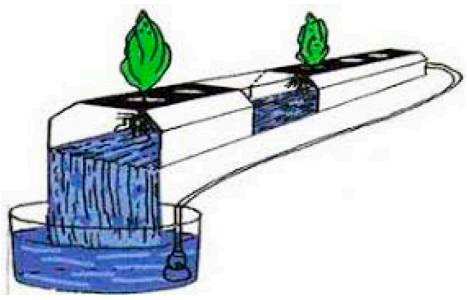


Рисунок 1. Система гидропонного выращивания по технологии питательной пленки

Figure 1. Nutrient film hydroponics

3. Измерение освещенности проводилось с помощью фоторезистора GL55. Он избирателен для диапазона видимого спектра электромагнитных волн. Считывание значений осуществлялось интерфейсом АЦП и измерялось в кОм;

4. В качестве аэратора использовался аквариумный компрессор производительностью 3,5 л/ч совместно с аэрационным камнем. Питание осуществлялось от сети с напряжением 220 В;

5. В качестве насоса, циркулирующего питательный раствор, использовался помповый насос для аквариумов с объемной подачей 4,5 л/мин. Питание осуществлялось от сети с напряжением 220 В;

6. Для освещения использовалась светодиодная лента на диодах 5050 с соотношением количества красных светодиодов (18) к синим (54) 1:3. По такой технологии изготавливается большинство фитоламп. Длина волн данных светодиодов практически совпадает с максимумом активности фотосистем растений. Питание осуществлялось от источника с напряжением 12 В;

7. В качестве вентилятора был взят кулер от компьютерного блока диаметром 120 мм, питающийся от источника с напряжением 12 В;

8. Для сбора, обработки и управления данными использовался микроконтроллер ESP32 – это единый комбинированный чип с Wi-Fi и Bluetooth с частотой 2,4 ГГц, разработанный с использованием 40-нанометровой технологии TSMC со сверхнизким энергопотреблением. Он создан для достижения наилучшей мощности и радиочастотных характеристик, демонстрируя надежность и универсальность в широком спектре приложений. Микроконтроллер оснащен двуядерным 32-битным микропроцессором Xtensa с тактовой частотой 240 МГц и поддерживает все основные интерфейсы связи с периферийными устройствами (GPIO, ADC, DAS, SPI, I2S, I2C, UART и др.). Программирование микроконтроллера осуществляется на языке MicroPython.

Измерение напряжения и тока проводилось с помощью мультиметра ZT102.

Потребляемая системой гидропоники мощность рассчитывалась по следующей формуле:

$$P = U \times I \quad (1)$$

где U – напряжение сети, равное 220 В; I – ток сети, А.

Для создания и обучения нейронной сети использовался язык программирования с открытым исходным кодом Python 3 совместно с библиотекой Numpy, предназначенной для ускоренных матричных вычислений.

Для эксперимента использовался питательный раствор Кнопа, состав которого приведен в таблице 1. Электропроводность раствора составила 730 ppm, pH = 5,5. Измерение электропроводности питательного раствора проводилось с помощью датчика TDSMeterv 1.0 for Arduino, pH – с помощью модуля датчика pH для Arduino

Таблица 1. Состав питательного раствора Кнопа

Table 1. Knop's nutrient solution

Компонент	Количество, г/л
$CaNO_3$	1,000
KNO_3	0,250
KH_2PO_4	0,250
$MgSO_4$	0,250
KCl	0,125
$FeCl_3$	0,125

Расчет транспирации растений происходит через определение дефицита давления пара (*VPD*, кПа). Его расчет проводился по следующим формулам:

$$VPD = VPsat - VPair \quad (2)$$

где *VPsat* – давление пара внутри листа, кПа; *VPair* – давление пара окружающего воздуха, кПа.

$$VPair = \frac{610,7 \times 10^{\frac{7,5 \times T}{237,3+T}}}{1000} \times \frac{RH}{100} \quad (3)$$

где T – температура воздуха, °C; *RH* – относительная влажность, %; 610,7 и 7,5 – коэффициенты, получаемые из уравнения Аррениуса.

$$VPsat = \frac{610,7 \times 10^{\frac{7,5 \times T}{237,3+T}}}{1000} \quad (4)$$

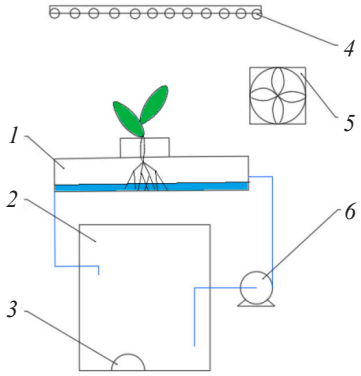
где T – температура поверхности листа растения, °C.

Эффективность обученной нейронной сети оценивали по потребляемой установкой мощности и совокупной площади листьев салата. Сбор данных проводился в 10–12-кратной повторности. Далее приведены средние значения показателей экспериментов (x ± Δx).

Результаты и их обсуждение

В системе гидропоники было решено использовать датчики температуры и влажности воздуха, температуры листа растения, а также освещенности для определения интенсивности света. Данный набор датчиков позволит отслеживать и контролировать наиболее важные факторы роста.

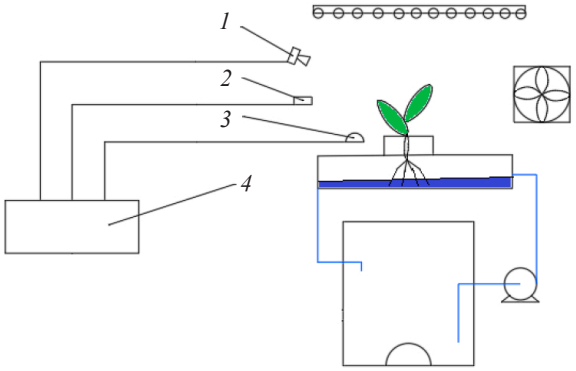
На основании вышеизложенного была разработана и собрана система гидропоники. За основу исследовательского стенда была взята технология питательной пленки (NFT), поскольку она отличается высокой оксигенацией корней растения за счет протекания через пленку питательного раствора. Это позволяет точно, по сравнению с аэропоникой, управлять корневой средой, не требуя применения



1 – лоток с растениями; *2* – бак с питательным раствором; *3* – аэратор; *4* – фитолампа; *5* – вентилятор; *6* – насос питательного раствора

Рисунок 2. Структурная схема исследовательского стенда

Figure 2. Block diagram of the experimental stand



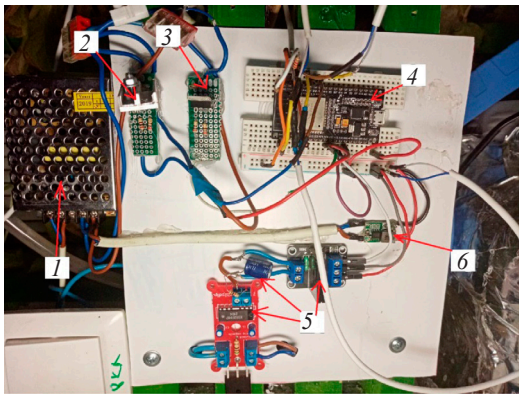
1 – инфракрасный датчик температуры; *2* – датчик температуры и влажности воздуха; *3* – датчик освещенности; *4* – микроконтроллер

Рисунок 4. Структурная схема исследовательского стенда

Figure 4. Block diagram of the experimental stand

дорогого оборудования. Система NFT является закрытой, что дает возможность использовать ее в качестве экспериментальной установки. Стоит отметить возможность высокой плотности посадки растений, что важно для их размещения в современных жилых помещениях. Данный тип подходит для выращивания большинства видов зелени, пряных и лечебных трав.

Структурная схема расположения исполнительных устройств изображена на рисунке 2. Экспериментальная установка состоит из пластикового лотка (*1*) для размещения растений, бака с питательным раствором (*2*), аэратора (*3*), повышающего количество растворенного кислорода в питательном растворе, фитолампы (*4*), вентилятора (*5*) и помпового насоса (*6*) для подачи питательного раствора в лоток с растениями.



1 – импульсный блок питания (12V); *2*, *3* – модули силового ключа на транзисторе L3705n; *4* – микроконтроллер ESP32; *5* – модуль управления насосом; *6* – DC-DC преобразователь питания микроконтроллера

Рисунок 3. Строение электронной части системы гидропоники

Figure 3. Electronic part of the hydroponics system

В качестве лотка для растений взят воздуховод (55×110×1000 мм), в котором были проделаны 12 отверстий под растения (d = 25 мм). Лоток был изолирован от света алюминиевой фольгой, которая позволила исключить развитие в нем водорослей. В качестве бака с питательным раствором взята пищевая емкость объемом 20 л, в крышке которой были проделаны необходимые технологические отверстия под аэратор и помповый насос. Бак, как и лоток, был изолирован от света. В системе аэрации был использован аквариумный компрессор совместно с аэрационным камнем. Для освещения использовалась светодиодная лента на диодах 5050 с соотношением количества красных светодиодов к синим 1:3. В качестве насоса взят помповый насос для аквариумов. Вся система смонтирована на деревянном каркасе.

Строение электронной части представлено на рисунке 3.

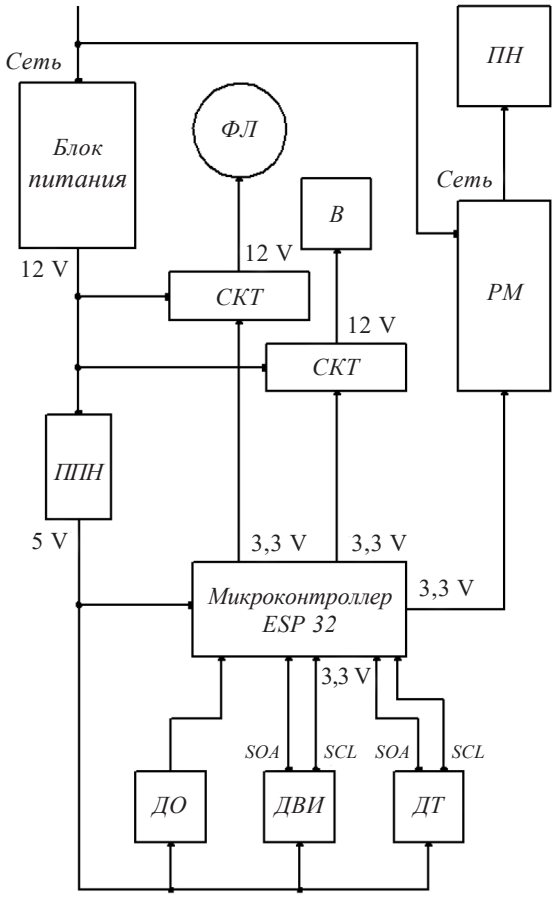
Структурная схема используемых датчиков представлена на рисунке 4. Система датчиков состоит из инфракрасного датчика температуры (*1*), измеряющего температуру поверхности листа, датчика температуры и влажности воздуха (*2*), фоторезистивного датчика освещенности (*3*) и микроконтроллера (*4*) для сбора и обработки данных.

Структурная электрическая схема представлена на рисунке 5.

Собранная установка представлена на рисунке 6.

Следующим шагом стало планирование эксперимента с целью сбора данных для формирования обучающей выборки для нейронной сети.

В начале планирования эксперимента производился выбор входных и выходных переменных.



ППН – понижающий преобразователь напряжения; *СКТ* – силовой ключ транзистора; *ФЛ* – фитолампа; *В* – вентилятор; *РМ* – регулятор мощности; *ПН* – помповый насос; *ДО* – датчик освещенности; *ДВИ* – датчик влажности и температуры; *ДТ* – датчик температуры листа

Рисунок 5. Структурная электрическая схема

Figure 5. Structural electrical diagram

Входные переменные X_i, i = (1, k) являются независимыми или управляющими факторами. Основным требованием, предъявляемым к таким факторам, является высокая управляемость, т. е. осуществимость установки и фиксации нужного уровня переменной в течение всего опыта.

Рисунок 6. Собранная установка гидропоники

Figure 6. Assembled hydroponics setup

Выходная переменная *Y* – это реакция объекта на входные воздействия, которая описывается формулой:

$$Y = f(a, b, c) \quad (5)$$

Входными данными (*a*, *b*, *c*) будут являться скорость вращения вентилятора (*FV*), освещенность растений (*LP*) и производительность помпового насоса (*PV*). Выходной переменной *Y* будет являться дефицит давления пара, т. е. транспирация растения (*VPD*).

Таким образом, результирующая формула примет следующий вид:

$$VPD = f(FV, LP, PV) \quad (6)$$

Вторым этапом планирования эксперимента является определение области значений входных переменных. Для этого необходимо составить таблицу пределов изменения факторов (табл. 2).

Получили матрицу планирования полного факторного эксперимента. На основе данных из матрицы был проведен эксперимент, состоящий из 27 состояний установки. Каждое измерение проводилось с интервалом 5 мин в течение суток.

Таблица 2. Пределы изменения факторов

Table 2. Change factor limits

Факторы	Скорость вращения вентилятора, об/мин	Освещенность растений, кОм	Производительность помпового насоса, мл/мин	Дефицит давления пара
Принятое обозначение	*FV*	*LP*	*PV*	*VDP*
Обозначение в МФЭ	X_1	X_2	X_3	*Y*
Верхний предел (1)	1350	4000	4000	–
Основной уровень (0)	700	3000	2500	–
Нижний предел (–1)	0	2000	1000	–

Следующим этапом исследования стала разработка структуры системы управления гидропоникой с использованием нейронной сети. В данной задаче работа нейронной сети сводится к преобразованию входных данных в выходные за счет матричных вычислений функций активации и подстройки синаптических весов связи.

Информация о микроклимате собирается с датчиков и передается в нейронную сеть, которая затем формирует управляющее воздействие для исполнительного устройства, которое влияет на контролируемый процесс.

Разработанная нейронная сеть совместно с регулятором состояла из трех основных блоков: базы данных, нейронной сети и модуля формирования управляющего воздействия (решения). Структура данного комплекса приведена на рисунке 7.

На вход нейронной сети подается информация о дефиците давления пара (*VPD*) и освещенности растений. Выходными данными являются объем подачи питательного раствора, необходимая яркость фитолампы и скорость вращения вентилятора. Данные от датчиков поступают в модуль базы данных, в котором они сохраняются некоторое время. Далее они подаются на нейронную сеть, которая выдает предсказания о необходимых параметрах управляющих воздействий. Модуль формирования решения использует эти данные для создания управляющих воздействий для исполнительных устройств.

При разработке нейронной сети для решения задачи контроля параметров исполнительных устройств гидропоники первым этапом стал выбор ее архитектуры. Подбор структуры осуществляется в зависимости от сложности решаемой задачи. Проведенный анализ литературных источников показал целесообразность использования нейронной сети типа многослойного персептрона, который способен учесть нелинейность системы.

Для подбора архитектуры необходимо определить критерий точности и ошибку предсказания для выходных данных. Точность – одна из важнейших характеристик системы автоматического управления, характеризующая степень близости реализации управляемого процесса к заданной величине. Отклонения управляемого процесса от требуемого вызываются динамическими свойствами объекта управления и системой автоматического управления, а также ошибками измерительных и исполнительных устройств. Объект управления обладает свойством инертности.

Таким образом, выбрана относительная погрешность предсказания нейронной сети, равная 1 %, что является минимальной разрешающей способностью регулирования исполнительных устройств. На основании данной ошибки производился дальнейший подбор архитектуры нейронной сети.

В работах [17, 22] было показано, что для решения большинства прикладных задач оптимальным количеством слоев нейронной сети типа многослойного персептрона являются 2–3 слоя. Данные работы основывались на теореме Колмогорова, которая теоретически обосновывает выбор количества скрытых слоев в нейронной сети.

В ходе эксперимента были рассмотрены разные структуры нейронной сети, которые обучались с помощью алгоритма обратного распространения ошибки. На входные нейроны подавалась одинаковая обучающая выборка. Наименьшую ошибку (0,2 %) показала нейронная сеть, представленная на рисунке 8. Изменение ошибки в процессе обучения представлено на рисунке 9. При обучении сетей с меньшим количеством слоев уровень ошибки составлял более 5 %, а при увеличении слоев свыше четырех ошибка оставалась на уровне четырехслойной нейронной сети.

Значение выходного нейрона будет определяться по формуле:

$$y = f_{Sigmoida}\left(\sum_{k=2}^{M} w_{1k}^{(3)} f_{Sigmoida}\left(\sum_{i=1}^{L} w_{ki}^{(2)} f_{ReLU}\left(v_i\right)\right)\right) \quad (7)$$

где f_{Sigmoida} – сигмоидальная функция активации; f_{ReLU} – функция активации ReLU; w – веса; v – значение входного параметра.

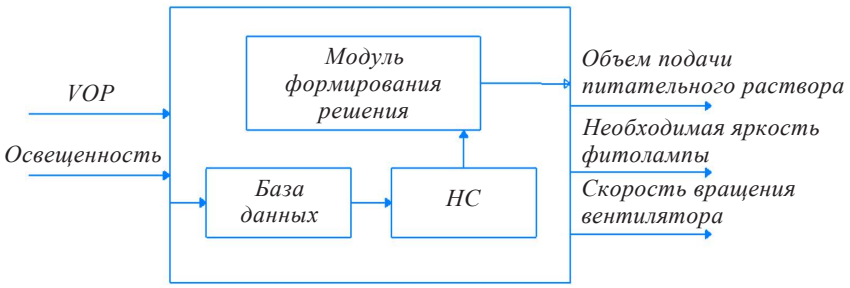


Рисунок 7. Структура регулятора нейронной сети

Figure 7. Structure of the neural network regulator

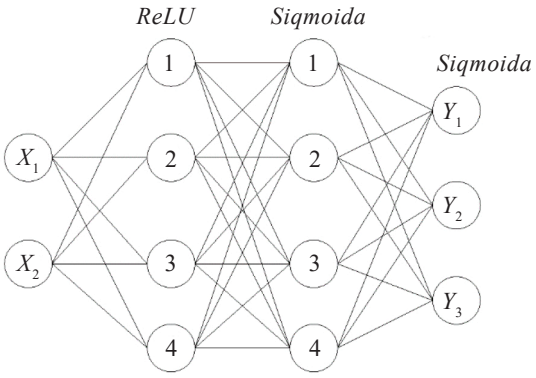


Рисунок 8. Структура нейронной сети

Figure 8. Neural network structure

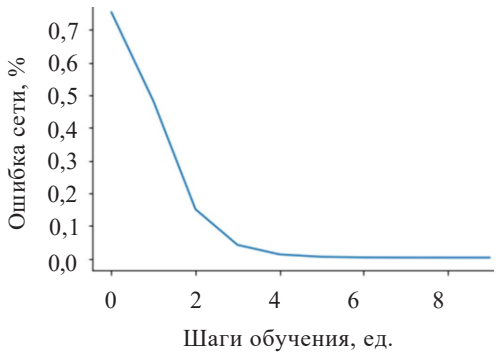


Рисунок 9. График изменения ошибки в процессе обучения нейронной сети

Figure 9. Error variance in the process of training the neural network

Входной вектор [X_1, X_2] состоит из таких параметров микроклимата, как *VPD* и освещенность помещения. Выходной вектор [Y_1, Y_2, Y_3] состоит из скорости вращения вентилятора, яркости фитолампы и производительности помпового насоса.

Данная нейронная сеть способна эффективно решать задачу контроля параметров исполнительных устройств гидропоники, связанную с недостаточной определенностью параметров ПИД-регулирования. Благодаря использованию функции активации сигмоиды нейронная сеть способна аппроксимировать нужную нам нелинейную функцию. Разработанная сеть способна выполнять функции регулятора.

После обучения сеть была интегрирована в систему управления гидропоникой. Данная операция облегчена тем, что язык программирования MicroPython, используемый для программирования микроконтроллеров ESP32, является производным от языка Python, в котором была создана и обучена нейронная сеть. Это позволило с минимальными изменениями перенести код в программу для микроконтроллера. В программу были добавлены обученные веса *w* и функция прямого прохода сети.

Управление гидропоникой осуществляется по следующему алгоритму:

1. Сбор данных. С помощью датчиков собирается информация о влажности и температуре воздуха, температуре поверхности листа растения и освещенности установки;

2. Подготовка данных для нейронной сети. Рассчитывается *VPD* и формируется вектор входных значений для нейронной сети [X_1, X_2];

3. Получение выходных данных из нейронной сети. Сеть на выход подает вектор [Y_1, Y_2, Y_3], где Y_1 – производительность насоса, Y_2 – скорость вентилятора, Y_3 – яркость фитолампы;

4. Формирование управляющего сигнала для исполнительных устройств.

Управление системой гидропоники реализуется в автоматическом режиме для процесса выращивания растения. Пользователь осуществляет контроль параметров, замену питательного раствора и посадку саженцев растений в лоток. Помимо автоматического режима, возможно ручное управление, реализованное через команды микроконтроллера.

Для определения энергоэффективности разработанной системы автоматизации необходимо измерить потребляемую среднюю мощность электроприбора в течение заданного промежутка времени.

Для реализации сравнения энергоэффективности модели управления на основе нейросетевого регулятора необходима контрольная модель управления, которая была осуществлена следующим образом:

– объем подачи питательного раствора: 4 л/мин безостановочно;

– интенсивность вращения вентилятора: 1000 об/мин безостановочно;

– интенсивность света фитолампы: 3000 кОм. Периодичность работы составила 18 ч для светового дня, 6 ч – для ночи.

При данных параметрах днем установка имеет потребление 0,13 А, ночью – 0,1 А. Суточное потребление электроэнергии составляет 647 Вт/сут.

Для расчета потребления электроэнергии установкой, управляемой нейросетевым регулятором, в течение суток каждый час проводился замер потребляемого тока. Результаты замеров приведены на рисунке 10.

Суточное потребление электроэнергии установкой, управляемой нейросетевым регулятором, составило E = 442 Вт/сут, что на 32,3 % меньше, чем за аналогичный период времени работы установки под управлением контрольной модели.

Выводы

В результате исследования была подтверждена возможность использования нейронной сети в качестве управляющей части системы гидропоники для дома. Архитектура использованной сети представляет собой многослойный персептрон. Обучен-

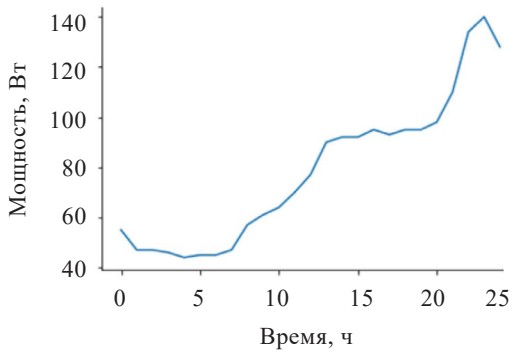


Рисунок 10. График потребления тока системой гидропоники, управляемой нейронной сети

Figure 10. Current consumption of the hydroponics system controlled by a neural network

ная нейронная сеть формирует управляющее воздействие, регулирующее количество подаваемого насосом питательного раствора, интенсивность освещения растений фитолампой и движение воздушных масс вентилятором.

Проделанная работа может быть использована фермерами для снижения затрат энергии на выращивание растений без снижения производительности гидропоники. Технология может быть реализована как в домашних системах гидропоники, так и в сити-фермах с возможностью интеграции в энергосберегающие жилые помещения и системы умного дома. Технология выполняет ограниченный набор операций в системе управления гидропоникой, фокусируясь на определенном виде растения.

Дальнейшая работа будет направлена на расширение набора параметров управления и видов культивируемых растений, что приведет к возможности масштабирования системы на крупные предприятия.

Критерии авторства

Д. М. Бородулин – руководство работой, написание рукописи статьи. А. А. Максименко – поиск статей, проведение эксперимента, обработка результатов и написание рукописи статьи. А. В. Шафрай – консультация в ходе написания рукописи статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

D.M. Borodulin supervised the research and wrote the manuscript. A.A. Maximenko reviewed scientific publications, conducted the experiment, processed the results, and wrote the manuscript. A.V. Shafrai provided consultation.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. World population prospects: Population division department of economic and social affairs. United Nation; 2019. 46 p.

2. The state of food security and nutrition in the world. Building climate resilience for food security and nutrition. Rome: Food and Agriculture Organization; 2018. 202 p.

3. Alexandratos N, Bruinsma J. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. Rome: Food and Agriculture Organization; 2012. 155 p. https://doi.org/10.22004/ag.econ.288998

4. Bren d'Amour C, Reitsma F, Baiocchi G, Barthel S, Güneralp B, Erb K-H, *et al.* Future urban land expansion and implications for global croplands. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2016;114(34):8939–8944. https://doi.org/10.1073/pnas.1606036114

5. Kaledin AP, Stepanova MV. Bioaccumulation of trace elements in vegetables grown in various anthropogenic conditions. Foods and Raw Materials. 2023;11(1):10–16. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-551

6. Bychkova SM, Zhidkova EA, Andreeva OO. Innovative controlling technologies. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(3):479–486. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-479-486

7. Rutkin NM, Lagutkina LYu, Lagutkin OYu. Urban agrotechnologies (city-farming) as a perspective branch of development of world agribusiness and the way to improve the cities food security. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2017;(4):95–108. (In Russ.). https://doi.org/10.24143/2073-5529-2017-4-95-108

8. We are what we eat: Healthy eating trends around the world. Nielsen; 2015. 27 p.

9. Gerasimenko NF, Poznyakovskiy VM, Chelnokova NG. Healthy eating and its role in ensuring the quality of life. Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex-Healthy Food Products. 2016;12(4):52–57. (In Russ.). [Герасименко Н. Ф., Позняковский В. М., Челнакова Н. Г. Здоровое питание и его роль в обеспечении качества жизни // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2016. Т. 12. № 4. С. 52–57.]. https://elibrary.ru/VIPFHU

10. From agriculture to AgTech. An industry transformed beyond molecules and chemicals. Monitor Delloite; 2016. 24 p.

11. Sedych TV, Pogrebnyak SV. Growth and productivity of cucumbers in winter greenhouses in autumn-winter crop rotation on hydroponics succinct in LLC “Sibagroholding” in a suburb of the city of Omsk. Vestnik of Omsk SAU. 2016;23(3):53–58. (In Russ.). [Седых Т. В., Погребняк С. В. Рост и продуктивность огурца в зимних теплицах в осенне-зимнем культурообороте на малообъемной гидропонике (ООО «Сибагрохолдинг») // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. Т. 23. № 3. С. 53–58.]. https://elibrary.ru/WLSMER

12. Dmitriev VM, Gandzha TV, Kurin’ka VS. Structural-functional scheme of a computer model of the smart hydroponic greenhouses. Informatika i Sistemy Upravleniya. 2018;55(1):51–63. (In Russ.). https://doi.org/10.22250/isu.2018.55.51-63

13. Saaid MF, Sanuddin A, Ali M, Yassin MSAIM. Automated pH controller system for hydroponic cultivation. IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE); 2015; Langkawi. Langkawi: IEEE; 2015. p. 186–190. https://doi.org/10.1109/ISCAIE.2015.7298353

14. William T. Hydroponics for everybody: All about home horticulture. Mama Publishing; 2015. 288 p.

15. Morimoto T, Hashimoto Y. Optimal control of plant growth in hydroponics using neural networks and genetic algorithms. Acta Horticulturae. 1996;406:433–440. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.406.43

16. Hashimoto Y. Computer integrated plant growth factory for agriculture and horticulture. IFAC Proceedings Volumes. 1991;24(11):105–110. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-041273-3.50023-9

17. Hatou K, Nonami H, Itoh M, Tanaka I, Hashimoto Y. Computer integrated plant growth factory for agriculture and horticulture. IFAC Proceedings Volumes. 1991;24(11):301–306. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-041273-3.50058-6

18. Yumeina D, Aji GK, Morimoto T. Dynamic optimization of water temperature for maximizing leaf water content of tomato in hydroponics using an intelligent control technique. Acta Horticulturae. 2017;5:55–64. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1154.8

19. Son JE, Kim H, Ahn TI. Hydroponic systems. In: Kozai T, Niu G, Takagaki M, editors. Plant factory. An indoor vertical farming system for efficient quality food production. Academic Press; 2020. pp. 273–283. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00020-0

20. Aji GK, Hatou K, Morimoto T, Modeling the dynamic response of plant growth to root zone temperature in hydroponic chili pepper plant using neural networks. Agriculture. 2020;10(6). https://doi.org/10.3390/agriculture10060234

21. Ferentinos KP, Albright LD. Fault detection and diagnosis in deep-trough hydroponics using intelligent computational tools. Biosystems Engineering. 2003;84(1):13–30. https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00232-5

22. Saraswathy VR, Nithiesh C, Palani Kumaravel S, Ruphasri S. Integrating intelligence in hydroponic farms. International Journal of Electrical Engineering and Technology. 2020;11(4):150–158. https://doi.org/10.34218/IJEET.11.4.2020.017

23. Jung D-H, Kim H, Jhin C, Kim H-J, Park S. Time-serial analysis of deep neural network models for prediction of climatic conditions inside a greenhouse. Computers and Electronics in Agriculture. 2020;173. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105402

24. Saraswathi D, Manibharathy P, Gokulnath R, Sureshkumar E, Karthikeyan K. Automation of hydroponics green house farming using IoT. 2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCA); 2018; Pondicherry. Pondicherry: IEEE; 2018. p. 1–4. https://doi.org/10.1109/ICSCAN.2018.8541251

25. Mehra M, Saxena S, Sankaranarayanan S, Tom RJ, Veeramanikandan M. IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks. Computers and Electronics in Agriculture. 2018;155:473–486. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.015

26. Kularbphettong K, Ampant U, Kongrodj N. An automated hydroponics system based on mobile application. International Journal of Information and Education Technology. 2019;9(8):548–552. https://doi.org/10.18178/ijiet.2019.9.8.1264

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2443
https://elibrary.ru/QLXETR

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Влияние эссенциальных микроэлементов на протеомный профиль белковой части мышечной ткани баранины

Т. М. Гиро*, А. В. Куликовский, А. В. Гиро**

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия

Поступила в редакцию: 12.09.2022
Принята после рецензирования: 03.10.2022
Принята к публикации: 08.11.2022

**Т. М. Гиро: girotm@sgau.ru, https://orcid.org/0000-0003-3039-1324*
***А. В. Куликовский: kulikovsky87@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9140-5390*
А. В. Гиро: https://orcid.org/0000-0001-8659-1566

© Т. М. Гиро, А. В. Куликовский, А. В. Гиро, 2023

Аннотация.
Протеомные технологии позволяют оценивать состав и процессы, происходящие на этапах формирования мясного сырья. Протеомные исследования мышечной ткани баранины и расширение научных знаний о влиянии эссенциальных микроэлементов органического происхождения на механизмы взаимодействия мышечных белков ткани баранины являются актуальными. Цель исследования заключалась в идентификации и количественном анализе белков мышечной ткани баранины от молодняка овец, выращенных с применением обогащенных эссенциальными микроэлементами рационов.
Объект исследования – баранина от молодняка овец эдильбаевской породы в возрасте 7 месяцев, получавшего в составе рациона кормовые добавки Йоддар-Zn и ДАФС-25. Опытно-хозяйственный эксперимент осуществлялся в течение 105 суток. Микроэлементный состав мышечной ткани баранины исследовали методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Идентификацию протеомного профиля баранины проводили методом двумерного гель-электрофореза (2-DE) по О'Фарреллу с изоэлектрофокусированием в амфолиновом (IEF-PAGE).
В исследуемых образцах баранины от молодняка овец, получавшего в течение 105 суток кормовые добавки Йоддар-Zn и ДАФС-25, идентифицировали алюминий, йод, кремний, селен и цинк. Выявили мажорные белковые фракции: 8 фракций с диапазоном молекулярной массы 12–15 кДа, 42 фракции – 16–30 кДа, 45 фракций – 35–110 кДа (pI от 5,0 до 8,0). Отметили представленность фермента глутатион-S-трансферазы, отвечающего за процесс биотрансформации токсических соединений и поддержания внутриклеточного гомеостаза и стрессоустойчивости в опытных образцах баранины. Во всех опытных образцах фортифицированной баранины представлена триозофосфатизомераза (фермент гликолиза). Установили наличие фермента супероксиддисмутазы, катализирующего супероксидный радикал в пероксиды и кислород, что защищает клетки организма от свободных кислородных радикалов.
Получили данные о влиянии инновационных кормовых добавок на молекулярные механизмы, происходящие в мышечной ткани баранины и вызывающие изменения протеомного профиля белковой части и электрофоретической активности баранины. Подтвердили эффективность обогащения рационов молодняка овец кормовыми добавками, содержащими органические микроэлементы. Результаты исследования могут быть использованы для моделирования и направленной корректировки процесса автолиза с целью получения баранины с необходимыми технологическими характеристиками посредством обогащения рационов кормления

Ключевые слова. Протеомика, мелкий рогатый скот, эдильбаевская порода, молодняк овец, баранина, рацион, кормовые добавки, эссенциальные микроэлементы, качество мясного сырья

Финансирование. Работа выполнена на базе Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова в рамках гранта Российского научного фонда (РНФ) 19-76-10013 П «Разработка и внедрение технологии производства и хранения экологически безопасной баранины, обогащенной эссенциальными микроэлементами».

Для цитирования: Гиро Т. М., Куликовский А. В., Гиро А. В. Влияние эссенциальных микроэлементов на протеомный профиль белковой части мышечной ткани баранины // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 396–403. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2443

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2443
https://elibrary.ru/QLXETR

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Effect of Essential Microelements on Proteomic Profile of Lamb Muscle Tissue Protein

Tatiana M. Giro*, Andrey V. Kulikovsky, Anna V. Giro**

N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Saratov, Russia

Received: 12.09.2022
Revised: 03.10.2022
Accepted: 08.11.2022

**Tatiana M. Giro: girotm@sgau.ru, https://orcid.org/0000-0003-3039-1324*
***Andrey V. Kulikovsky: kulikovsky87@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9140-5390*
Anna V. Giro: https://orcid.org/0000-0001-8659-1566

© T.M. Giro, A.V. Kulikovsky, A.V. Giro, 2023

Abstract.
Proteomic technologies make it possible to evaluate the composition of meat raw materials at different stages of processing. Proteomic studies of lamb muscle tissue help to expand scientific knowledge about the effect of essential organic microelements on the interaction of lamb muscle tissue proteins. The research objective was to identify and quantify lamb muscle tissue proteins from young sheep grown on feed additives fortified with microelements.
The research featured meat from young sheep of the Edilbaev breed aged 7 months that consumed additives Yoddar-Zn and DAFS-25 as part of their diet. The experiment lasted 105 days. The microelement composition of lamb muscle tissue underwent atomic absorption spectrometry. The proteomic profile was identified using O'Farrell's two-dimensional gel electrophoresis (2-DE) with isoelectrofocusing in ampholine (IEF-PAGE).
Aluminum, iodine, silicon, selenium, and zinc were identified in lamb samples from young sheep that received feed additives Yoddar-Zn and DAFS-25 for 105 days. Major protein fractions included eight with a molecular weight of 12–15 kDa, 42 with 16–30 kDa, and 45 with 35–110 kDa (pI 5.0–8.0). The samples contained glutathione-S-transferase, which is responsible for biotransformation of toxic compounds, maintenance of intracellular homeostasis, and stress resistance. All the experimental samples had triose phosphate isomerase (glycolysis enzyme). The tests also revealed superoxide dismutase, which catalyzes the superoxide radical into peroxides and oxygen, thus protecting body cells from free oxygen radicals.
The research provided relevant data on the effect of innovative feed additives on the molecular mechanisms that occur in mutton muscle tissue and affect the proteomic profile of meat proteins and electrophoretic activity. The feed additives with organic microelements proved efficient. The results can be used to model and adjust autolysis in order to obtain meat with the necessary technological properties.

Keywords. Proteomics, small ruminants, Edilbaev breed, young sheep, lamb, diet, feed additives, essential microelements, raw meat quality

Funding. The research was performed on the premises of N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering and supported by the Russian Science Foundation (RSF) 19-76-10013 P: Production and storage technologies for organic lamb, fortified with essential micronutrients.

For citation: Giro TM, Kulikovsky AV, Giro AV. Effect of Essential Microelements on Proteomic Profile of Lamb Muscle Tissue Protein. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):396–403. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2443

Введение

Решению проблемы сохранения здоровья россиян способствует создание функциональных продуктов направленного действия из отечественного мясного сырья, обогащенного органическими микроэлементами как важнейшими структурными компонентами иммунной системы, которые обладают физиологически значимыми эффектами (Указ Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 г.») [1, 2]. Перспективным сырьем для производства таких продуктов может стать баранина от животных, выращенных с использованием метода прижизненной оптимизации химического состава за счет коррекции рационов питания эссенциальными нутриентами. Преимущество

баранины как сырьевого источника для производства отечественных функциональных продуктов обосновано рядом положительных свойств: высокое содержание витаминов (B_1, B_2, B_3, B_5, B_6, E) и жира с большим количеством стеаринового комплекса, а также физиологически активных пептидов, способствующих регуляции биоактивности организма [3].

В последние десятилетия в мясной промышленности начали активно применяться омиксные технологии. Развитие этих методов изменило экспериментальные подходы в науке о пищевых продуктах. Протеомные технологии позволяют оценить состав и происходящие процессы на этапах формирования мясного сырья. Однако протеомные исследования по мышечной ткани баранины в литературе представлены мало [4–7]. Протеомный подход был использован для изучения влияния сезонной потери веса, деградации миофибриллярных белков в процессе созревания мяса и изменений белкового состава, в зависимости от способа забоя и термообработки, на модификацию белков в ягнятине, а также поиска видоспецифичных маркеров мяса животных, в том числе баранины, и белков-маркеров предикторов изменения цвета мяса при посмертном хранении [8, 9]. Еще одно направление исследований было направлено на изучение роли использования разных добавок в кормовую базу сельскохозяйственных животных и птицы. Рацион питания показал качественные изменения в наборе массы и конечном качестве мяса [10, 11]. В работе A. D. Malva и др. протеомными технологиями было исследовано влияние пищевых добавок в рационе льняного семени и/или киноа на нежность и протеом мяса ягненка [11]. В одной группе протеомный анализ выявил деградацию комплекса белков десмина и тропонина Т и наличие большого количества пятен и фосфорилированных изоформ быстрых легких цепей миозина 2. Мясо, полученное при другом рационе, показало незначительное влияние на инструментальную оценку его нежности и увеличение количества фракций саркоплазматических белков.

Генетическая информация остается статической в течение жизни животного, а белковый состав динамично меняется в зависимости от факторов, влияющих на синтез или деградацию белка. Исследование протеома дает возможность не только изучить молекулярные механизмы, происходящие в тканях на более глубоком уровне, но и спрогнозировать интересующие свойства мясного сырья [10, 11].

Создание функциональных мясных продуктов заключается в рассмотрении мышечных белков как пищевой матрицы, в которую включены биоактивные компоненты. В связи с этим изучение механизма взаимодействия протеомного профиля мышечных белков фортифицированной баранины с эссенциальными микроэлементами позволит использовать такое сырье в производстве функциональных мясных продуктов направленного действия (ТР ТС 034/2013).

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлась баранина от молодняка мелкого рогатого скота эдильбаевской породы в возрасте 7 месяцев, получавшего в составе рациона кормовые добавки Йоддар-Zn и ДАФС-25, которые содержат органические источники йода, селена и кремния [3].

Научно-хозяйственные опыты проведены на 4 группах животных (возраст 4 месяца) по 10 повторов на каждую контрольную и опытные группы. Рацион животных контрольной группы включал только кормовую смесь СК ОК-81-2 (СК) в количестве 300 г. К стандартному рациону животные опытных групп один раз в сутки получали добавки Йоддар-Zn и ДАФС-25:

– контроль: стандартный рацион – 300 г;
– образец № 1: стандартный рацион + добавка Йоддар-Zn – 300 г в сутки;
– образец № 2: стандартный рацион + добавка ДАФС-25 – 300 г в сутки + 0,5 мг в сутки;
– образец № 3: стандартный рацион + добавки Йоддар-Zn + ДАФС-25 – 300 г в сутки + 0,5 мг в сутки.

Опытно-хозяйственный эксперимент осуществлялся в течение 105 суток. Забой экспериментальных баранчиков осуществляли в соответствии с требованиями ТР ТС 034/2013.

Микроэлементный состав баранины исследовали методом атомно-абсорбционной спектрометрии по ГОСТ EN 31707.

Идентификацию йода в органической форме осуществляли методом ВЭЖХ с масс-детектором Agilent 6410B по ГОСТ 33422-2015. Органический йод в форме аминокислотных остатков моно- и дийодтирозина идентифицировали с предварительным ферментативным гидролизом протеазой и последующей тонкой очисткой на патронах ТФЭ (октадецил). Для перевода аминокислотных остатков (МИТ и ДИТ) в летучие формы проводили дериватизацию бутанолом и ацетилхлоридом [4]. Определение органической формы селена проводили инновационным методом, разработанным в ФГНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова», по МИ-06-2021.

Идентификацию органической формы селена в виде селенометионина (Se-Met) проводили на системе ВЭЖХ Sciex Exion LC с гибридным масс-спектрометром с активированной ионной ловушкой Sciex QTRAP 5500. Пробы предварительно подвергали гидролизу протеолитическими ферментами (протеаза, папаин). Гидролизат очищали на патронах ТФЭ (октадецил) с последующей дериватизацией анализируемых аналитов смесью бутанола и ацетилхлорида (4:1).

Идентификацию протеомного профиля баранины проводили методом двумерного гель-электрофореза (2-DE) по О'Фарреллу с изоэлектрофокусированием в амфолиновом (IEF-PAGE) [18]. Детекцию белков на двумерных электрофореграммах проводили окрашиванием кумасси голубым R-250 (CBB R-250), а затем последовательно азотнокислым серебром [19]. Для проведения компьютерной денситометрии использовали двумерные электрофореграммы, находившиеся во влажном состоянии. При определении количества белка использовалось не менее 3-х электрофореграмм с равным нанесением [17].

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследования определили содержание микроэлементов в баранине от животных мелкого рогатого скота, в рационе которых использовали добавки йода и селена в органической форме (рис. 1).

Химический состав содержания эссенциальных микроэлементов в баранине контрольной и опытных групп показал, что в ней идентифицированы алюминий, йод, кремний, селен и цинк. Максимальное содержание органической формы селена выявлено в образцах № 1 и 4 – 286,3 ± 100,2 и 300,2 ± 105,1 мкг/кг соответственно. Наибольшее содержание йода отмечено в образцах № 2 и 4 – 54,6 ± 6,8 и 61,5 ± 9,6 мкг/кг соответственно, что в 1,7 и 1,9 раза больше, чем в контрольной группе.

С целью идентификации и количественного анализа изменений протеомного профиля белковой части мышечной ткани методом двумерного электрофореза провели исследования фортифицированной баранины от животных, выращенных с использованием рационов, которые содержали органический йод и селен [7].

В результате проведенных экспериментов были получены типичные 2DE электрофореграммы образцов баранины *Ovis aries*, выращенных на обогащенных рационах кормления (рис. 2).

В каждом образце идентифицировали более 250 белков и пептидов. Методом двумерного электрофореза выявили мажорные белковые фракции (выделено красными прямоугольниками).

Сравнительный анализ позволил установить 8 идентичных белков и пептидов, представляющих структурные белки, которые свойственны для всех анализируемых (рис. 2, красные прямоугольники) и саркоплазматических (рис. 2, фиолетовые прямоугольники) образцов, а также ферменты гликолиза, белки, обладающие антиоксидантной активностью (рис. 2, кирпичные прямоугольники), и изоформы *β*-енолазы креатинфосфокиназы, альдолазы А и глицеральфосфатдегидрогеназы (рис. 2, салатовые прямоугольники). Как для контрольного образца, так и для опытных образцов (№ 1–3) характерно наличие 8 фракций с диапазоном молекулярной массы 12–15 кДа, 42 фракции – 16–30 кДа, 45 фракций – 35–110 кДа (pI от 5,0 до 8,0). Различия в диапазонах белковых фракций и мажорности белков представлены на рисунке 3. В области миозинов (структурных и фосфорилируемых) наблюдаются различия в образцах № 1 и 3: изоформы миозинов легкой цепи (MLC) в мясе с соответствующими рационами кормления обладали большей мажорностью, чем контроль. Было выявлено, что изоформа MLC 2V в образце № 1 отличается по мажорности от контроля и других образцов. Различий во фракциях *α*- и *b*-тропомиозинов не наблюдалось.

Наблюдались различия по интенсивности окраски пятен белков в образце № 3. Была обнаружена электрофоретическая изоформа в *β*-цепи гемоглобина (фракция 10, рис. 3, фиолетовый прямоугольник), отсутствующая в образцах № 1 и 2. Это может объясняться повышенной степенью окисления мышечных белков из-за большей подвижности животного при данном рационе кормления.

При гиподинамии формируются гликолитические волокна, но при активизации двигательной активности увеличивается количество окислительных волокон. Наличие изоформ MLC может способствовать изменениям в метаболизме волокон, что влияет на технологические и функциональные показатели сырья, в том числе на скорость автолитических процессов. Таким образом, возможно при корректировании рационов кормления направленно добиться изменений в характере процессов автолиза с целью производства сырья с заданными характеристиками.

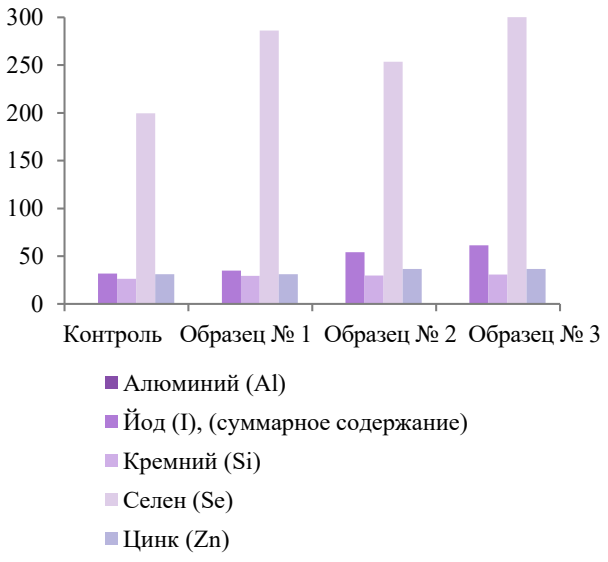


Рисунок 1. Концентрация микроэлементов в образцах баранины, мкг/кг

Figure 1. Concentration of microelements in lamb samples, μg/kg

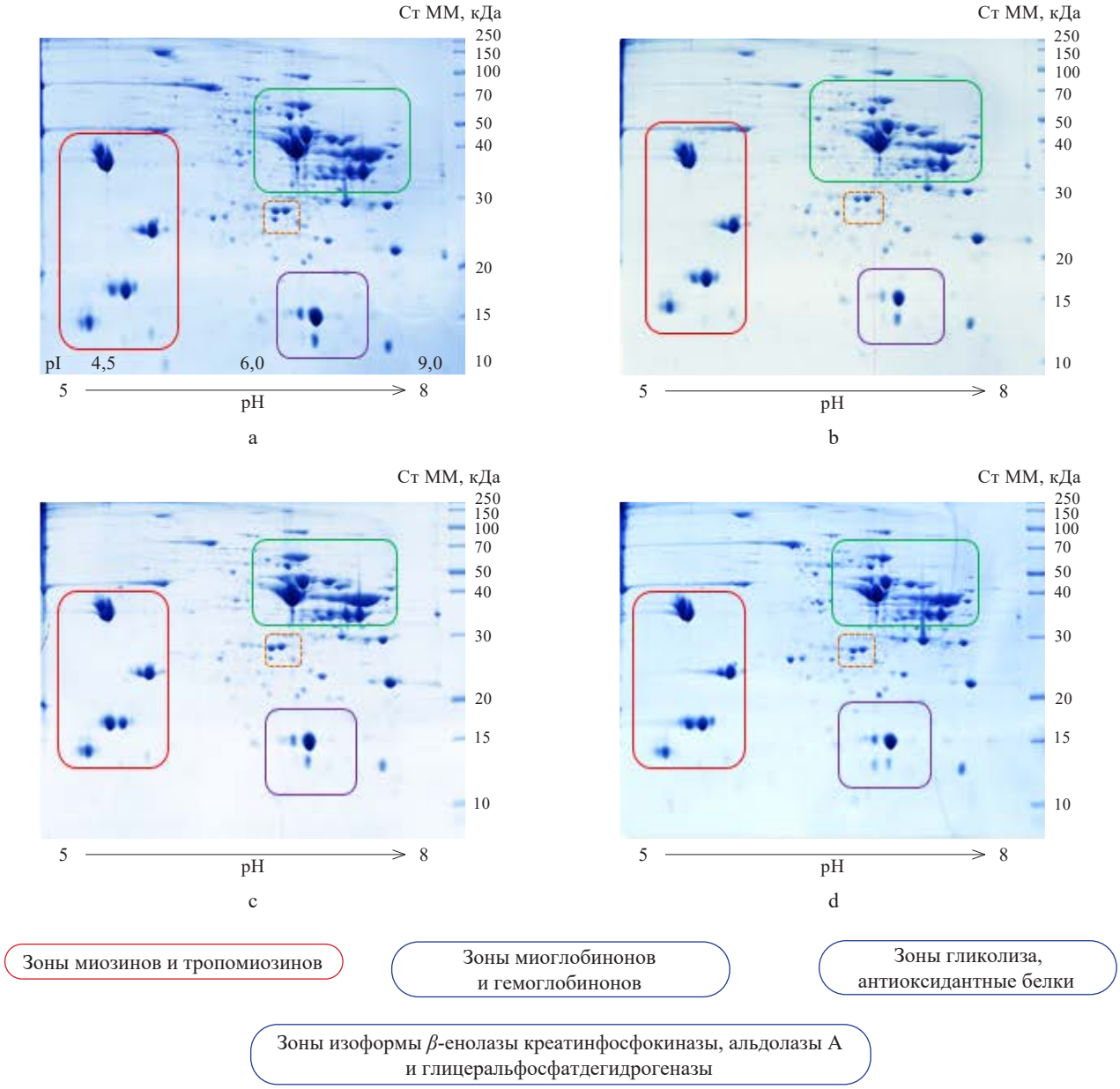


Рисунок 2. 2DE двумерные электрофореграммы баранины: a – контроль; b – образец № 2 (добавка ДАФС-25); c – образец № 1 (добавка Йоддар-Zn); d – образец № 4 (добавки Йоддар-Zn + ДАФС-25)

Figure 2. 2DE electropherograms of lamb: a – control; b – sample 2 (DAFS-25); (c) sample 1 (Yoddar-Zn); d – sample 4 (Yoddar-Zn + DAFS-25)

Стоит отметить представленность в образцах № 1 и 3 фермента глутатион-S-трансферазы (фракция 13, рис. 4), отвечающего за процесс биотрансформации токсических соединений. Данный фермент участвует в поддержании внутриклеточного гомеостаза и стрессоустойчивости. Таким образом, рационы кормления образцов № 1 и 3 формируют предпосылки к устойчивому формированию метаболических процессов в органах и тканях животных, что отразилось на продуктивности и качестве баранины (рис. 4).

Во всех рационах кормления представлена триозофосфатизомераза (фракция 14), являющаяся ферментом гликолиза. Стоит отметить мажорность одного из основных ферментов антиоксидантной системы – супероксиддисмутазы, локализованной в митохондриальном матриксе (фракция 15). Супероксиддисмутаза катализирует супероксидный радикал в пероксиды и кислород, что позволяет защитить клетки организма от свободных кислородных радикалов.

Выводы

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что использование кормовых рационов, обогащенных органическим йодом и селеном, оказы-

№ пятна	Наименование белка (символ гена)
1	Миозиновая легкая цепь миозина изоформа 2V (*MYL2V*) – фосфорилируемые
2	Миозиновая легкая цепь 2 изоформа MLC 2B (*MYLPF*) – фосфорилируемые
3	Миозиновая легкая цепь 1 (*MYL1*) – структурные
4	Миозиновая легкая цепь 3 (*MYL3*) – структурные
5	Тропомиозин *β*-2 (*TPM2*)
6	Тропомиозин *α*-1 (*TPM1*)
7	Легкая цепь миозина 1/3, скелетномышечная укороченная электрофоретическая изоформа (*MYL1*)
8	Легкая цепь миозина 1/3, скелетномышечная укороченная изоформа (*MYL1*)
9	Гемоглобин *β*-цепь (*HBB*)
10	Гемоглобин *β*-цепь электрофоретическая изоформа (*HBB*)
11	Миоглобин, электрофоретическая изоформа (*MB*)
12	Миоглобин (*MB*)

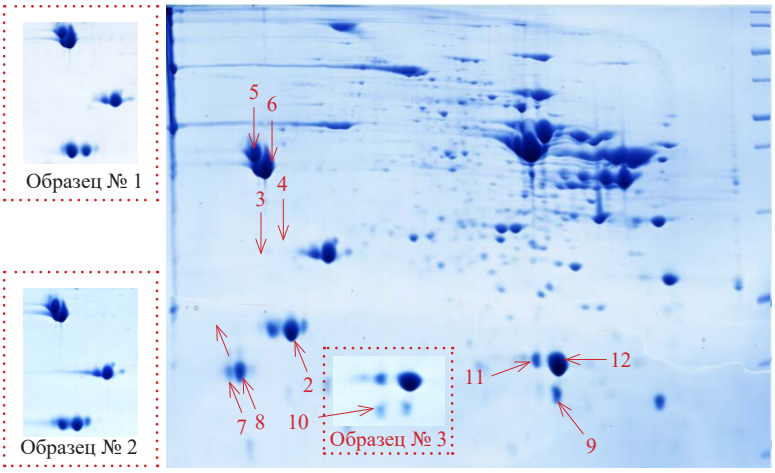
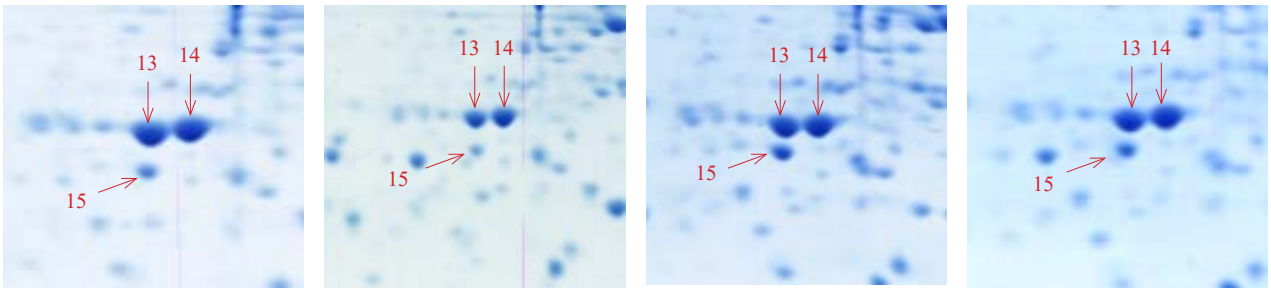


Рисунок 3. 2DE двумерная электрофореграмма образца баранины (красные пунктирные прямоугольники – выделенные области миозинов и тропомиозинов образцов № 1 и 3)

Figure 3. 2DE electrophoregram of lamb: red dotted rectangles are the areas of myosins and tropomyosins, samples 1 and 3



Образец № 1 Образец № 2 Образец № 3 Образец № 4

фракция 13 – глутатион-S-трансфераза, изоформа (*GSTM1**)

фракция 14 – триозофосфатизомераза (*TPI1*)

фракция 15 – супероксиддисмутаза, митохондриальная (*SOD2*)

Рисунок 4. Зоны ферментов гликолиза

Figure 4. Zones of glycolysis enzymes

вает изменения протеомного профиля белковой части и электрофоретической активности баранины от мелкого рогатого скота эдильбаевской породы. Методом протеомики отметили представленность фермента глутатион-S-трансферазы, отвечающего за процесс биотрансформации токсических соединений в образцах № 1 и 3, содержащих йод в органической форме. Данный фермент участвует в поддержании внутриклеточного гомеостаза и стрессоустойчивости. Таким образом, рационы кормления образцов № 1 и 3 формируют предпосылки к устойчивому формированию метаболических процессов в органах и тканях животных, что может влиять на продуктивность животных и качество баранины.

Результаты исследования, полученные методом протеомики, перспективны для создания функциональных продуктов, пищевая матрица которых обогащена эссенциальными микроэлементами.

Идентификация белков с помощью протеомики будет способствовать усовершенствованию методов выращивания животных и повышению продуктивности поголовья для моделирования и направленной корректировки процесса автолиза с целью получения баранины с необходимыми технологическими характеристиками посредством обогащения рационов кормления.

Данные исследования представляют интерес для животноводства и специалистов по производству продуктов специального назначения, особенно при условии идентификации белков на уровне мышц и/или ткани, имеющих экономическое значение в производстве мяса.

Критерии авторства

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что статья не содержит клеветнических высказываний, не посягает на права (включая без ограничений авторское право или права на патент/торговую марку) других лиц и не содержит материалы или инструкции, которые могут причинить вред или ущерб третьим лицам, а их публикация не приведет к разглашению секретных или конфиденциальных сведений (включая государственную тайну).

Contribution

The authors contributed equally and bear equal responsibility for any potential plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that the article contains no defamatory statements, classified/confidential information (including state secrets), or materials/instructions that may cause harm/damage to third parties. The article does not violate copyright or patent/trademark rights.

References/Список литературы

1. Lisitsyn AB, Chernukha IM, Lunina OI, Fedulova LV. Formation of the composition and properties of animal raw materials *in vivo*. Moscow: Gorbatov Research Center for Food Systems; 2018. 440 p. (In Russ.). [Прижизненное формирование состава и свойств животного сырья / А. Б. Лисицын [и др.]. М.: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова, 2018. 440 с.]. https://elibrary.ru/YNTHCH

2. Chernukha IM, Fedulova LV, Dydykin AS. Safe and useful products as the main factor determining the quality of life. Vsyo o Myase. 2014;(2):20–22. (In Russ.). [Чернуха И. М., Федулова Л. В., Дыдыкин А. С. Безопасные и полезные продукты как главный фактор, определяющий качество жизни // Все о мясе. 2014. № 2. С. 20–22.]. https://elibrary.ru/SCSMWH

3. Gorlov IF, Slozhenkina MI, Giro TM, Kulikovskij AV, Mosolov AA, Starodubova YuV, *et al.* Fodder additive for young sheep. Russia patent RU 2729387C1. 2020. [Кормовая добавка для молодняка овец: пат. 2729387C1 Рос. Федерация. № 22019140759 / Горлов И. Ф. [и др.]; заявл. 09.12.2019; опубл. 06.08.2020; Бюл. № 22. 8 с.].

4. Kulikovskiy AV, Lisitsyn AB, Kuznetsova OA, Vostrikova NL, Gorlov IF. Method of determination organic iodine (iodotyrosines) in food. Problems of Nutrition. 2016;85(4):91–97. (In Russ.). [Методические аспекты определения органического йода (йодтирозинов) в пищевых продуктах / А. В. Куликовский [и др.] // Вопросы питания. 2016. Т. 85. № 4. С. 91–97.]. https://elibrary.ru/UBQVOJ

5. Kulikovskii AV, Lisitsyn AB, Chernukha IM, Gorlov IF, Savchuk SA. Determination of iodotyrosines in food. Journal of Analytical Chemistry. 2016;71(12):1215–1219. https://doi.org/10.1134/S1061934816100087

6. Molchanov AV, Egorova KA. Weight growth and slaughter rates of Edilbaev rams of different types of birth. Sheep, Goats, Wool Business. 2017;(4):21–22. (In Russ.). [Молчанов А. В., Егорова К. А. Весовой рост и показатели убоя эдильбаевских баранчиков разного типа рождения // Овцы, козы, шерстное дело. 2017. № 4. С. 21–22.]. https://elibrary.ru/ZXKVHD

7. Shishkin SS, Kovalev LI, Kovaleva MA, Ivanov AV, Eremina LS, Sadykhov EG. The application of proteomic technologies for the analysis of muscle proteins of farm animals used in the meat industry (review). Applied Biochemistry and Microbiology. 2014;50(5):453–465. (In Russ.). https://doi.org/10.7868/S0555109914050110

8. Yu T-Y, Morton JD, Clerens S, Dyer JM. Proteomic investigation of protein profile changes and amino acid residue level modification in cooked lamb *longissimus thoracis et lumborum*: The effect of roasting. Meat Science. 2016;119:80–88. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.024

9. Naveena BM, Jagadeesh DS, Babu AJ, Rao TM, Kamuni V, Vaithivanathan S, *et al.* OFFGEL electrophoresis and tandem mass spectrometry approach compared with DNA-based PCR method for authentication of meat species from raw and cooked ground meat mixtures containing cattle meat, water buffalo meat and sheep meat. Food Chemistry. 2017;233:311–320. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.116

10. Paredi G, Raboni S, Bendixen E, de Almeida AM, Mozzarelli A. "Muscle to meat" molecular events and technological transformations: The proteomics insight. Journal of Proteomics. 2012;75(14):4275–4289. https://doi.org/10.1016/j.jprot.2012.04.011

11. della Malva A, Marino R, Santillo A, Annicchiarico G, Caroprese M, Sevi A, *et al.* Proteomic approach to investigate the impact of different dietary supplementation on lamb meat tenderness. Meat Science. 2017;131:74–81. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.235

12. Zamaratskaia G, Li S. Proteomic in meat science – current status and future perspective. Theory and Practice of Meat Processing. 2017;2(1):18–26. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2414-438X-2017-2-1-18-2

13. Moini J, Pereira K, Samsam M. Iodine and thyroid hormones. In: Moini J, Pereira K, Samsam M, editors. Epidemiology of thyroid disorders. Elsevier; 2020. pp. 45–62. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818500-1.00003-7

14. Chernukha I, Fedulova L, Akhremko A, Kotenkova E. A comparative study of *Sus scrofa m. Longissimus dorsi* with different changes in quality. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2017;11(1):398–402. https://doi.org/10.5219/769

15. Chernukha I, Fedulova L, Kotenkova E. Hypolipidemic action of the meat product: *In vivo* study. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2018;12(1):566–569. https://doi.org/10.5219/959

16. Vasilevskaya ER, Akhremko AG. Proteomic study of pig's spleen. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2019;13(1):314–317. https://doi.org/10.5219/1093

17. Zolotarev NA, Fedotova OB, Agarkova EYu, Akhremko AG, Sokolova OV. Directional proteolysis of secondary raw. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology. 2020;5(443):77–84. https://doi.org/10.32014/2020.2518-1491.83

18. Akhremko A, Vasilevskaya E, Fedulova L. Adaptation of two-dimensional electrophoresis for muscle tissue analysis. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2020;14:595–601. https://doi.org/10.5219/1380

19. Akhremko A, Fedulova L. Comparative study of weaning pigs' muscle proteins using two-dimensional electrophoresis. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2021;15:52–57. https://doi.org/10.5219/1449

20. Akhremko A. The study of the main porcine muscle proteins and its modifications. FEBS OPEN BIO. 2021;11:161.

21. Kulikovskii AV, Vostrikova NL, Chernukha IM, Khvostov DV. Quantitative identification of muscle tissue by means of biomarker peptides by using method of multiple reaction monitoring. Oriental Journal of Chemistry. 2019;35(4):1327–1331. https://doi.org/10.13005/ojc/350411

22. Khvostov D, Vostrikova N, Chernukha I. Comparison of heat-stable peptides using a multiple-reaction monitoring method to identify beef muscle tissue. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2020;14:149–155. https://doi.org/10.5219/1317

23. Khvostov D, Vostrikova N, Chernukha IM. PSV-25 Detection of heart and aorta tissue peptide markers by the multiple-reaction monitoring method. Journal of Animal Science. 2020;98(4):362–363. https://doi.org/10.1093/jas/skaa278.636

24. Khvostov DV, Vostrikova NL, Chernukha IM, Kulikovskii AV. Identifying the proportion of muscle tissue by biomarker peptides using quadrupole chromatography-mass spectrometry. Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki. 2019;161(3):490–499. (In Russ.). https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.3.490-499

25. Khvostov DV, Vostrikova NL, Zherdev AV, Zvereva EA, Kurzova AA. Quantitative identification of muscular tissue by the means of protototic peptides using the multiple reaction monitoring method. Analytics and Control. 2019;23(4):580–586. (In Russ.). https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.4.012

26. Zhou B, Shen Z, Liu Y, Wang C, Shen QW. Proteomic analysis reveals that lysine acetylation mediates the effect of antemortem stress on postmortem meat quality development. Food Chemistry. 2019;293:396–407. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.122

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2444
https://elibrary.ru/PWQZDR

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Сравнение типичных свойств напитков с различным содержанием этанола

И. П. Лутков[1,*], Д. В. Ермолин[2]

[1] *Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, Ялта, Россия*

[2] *Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия*

Поступила в редакцию: 11.08.2022
Принята после рецензирования: 29.09.2022
Принята к публикации: 04.10.2022

**И. П. Лутков: igorlutkov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9515-4341*
Д. В. Ермолин: https://orcid.org/0000-0002-3543-2837

© И. П. Лутков, Д. В. Ермолин, 2023

Аннотация.
Спрос на безалкогольные пиво и вино, содержащие в составе диоксид углерода, растет. Современные технологии деалкоголизации пива и вина позволяют получать более качественные напитки, но в большинстве случаев отмечается изменение аромата и вкуса напитков. Цель исследования заключалась в проведении сравнительного анализа типичных свойств пива и игристого вина с различной спиртуозностью.
Объектами исследования являлись промышленные образцы пива и игристого вина с различной объемной долей этилового спирта. В ходе исследования провели анализ органолептических свойств, кислотности, игристых свойств по скорости десорбции CO_2, содержания CO_2, пенистых свойств, вязкости, фенольных веществ, белков пива и оптических характеристик. В работе применяли стандартные методы исследований.
Алкогольное пиво, по сравнению с безалкогольным, имело более полный вкус и типичный аромат. Ароматический и вкусовой профиль игристых вин различался в зависимости от сортовых особенностей сырья. Коэффициент игристых свойств безалкогольного пива был на 1,2–7,5 % выше алкогольного из-за лучшей растворимости CO_2 в напитках с меньшим содержанием этанола; у алкогольного игристого вина – выше на 19,7 %, чем у безалкогольного, из-за наличия связанных форм CO_2. Пенистые свойства алкогольных напитков были лучше, чем у безалкогольных, из-за большего содержания белков. Установили связь желтизны и оптической плотности напитков при длине волны 350 нм с суммой фенольных веществ, а также значения показателя цвета пива с содержанием меланоидинов.
Проведенные исследования показали, что существующие технологии деалкоголизации позволяют вырабатывать безалкогольную продукцию близкую аналогичным алкогольным напиткам. Необходимо дальнейшее их совершенствование с целью улучшения качества безалкогольной продукции и сохранения в ней связанных форм CO_2, белков, фенольных веществ и аромата.

Ключевые слова. Напитки, безалкогольное пиво, игристое вино, десорбция CO_2, аромат, фенольные вещества, кислотность, дескрипторы

Для цитирования: 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. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2444

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2444
https://elibrary.ru/PWQZDR

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Typical Properties of Beverages with Different Ethanol Content: A Comparative Analysis

Igor P. Lutkov[1,*], Dmitry V. Yermolin[2]

[1] *All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" RAS, Yalta, Russia*

[2] *V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia*

Received: 11.08.2022
Revised: 29.09.2022
Accepted: 04.10.2022

**Igor P. Lutkov: igorlutkov@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0001-9515-4341
Dmitry V. Yermolin: https://orcid.org/0000-0002-3543-2837

© I.P. Lutkov, D.V. Yermolin, 2023

Abstract.
Non-alcoholic beer and wine are in great demand. Some of them contain carbon dioxide. Dealcoholization makes it possible to obtain high-quality drinks, but changes in flavor and taste are unavoidable. This article introduces a comparative analysis of the typical properties of beer and sparkling wine with different levels of alcohol.
The research featured industrial samples of beer and sparkling wine with different volume fractions of ethyl alcohol. The comparative analysis relied on standard research methods and included sensory evaluation, acidity, sparkling properties in terms of carbon dioxide desorption rate, carbon dioxide content, foamy properties, viscosity, phenolic substances, beer proteins, and optical characteristics.
Alcoholic beer had a better taste and possessed a typical beer flavor. The flavor and taste profile of sparkling wines depended on the raw material. The sparkling coefficient of non-alcoholic beer was 1.2–7.5% higher than that of alcoholic beer because drinks with less ethanol have better carbon dioxide solubility. For alcoholic sparkling wine, the sparkling coefficient was higher by 19.7% than for its non-alcoholic analogue due to bound forms of carbon dioxide. The foaming properties of alcoholic drinks were better than those of the non-alcoholic samples due to the higher protein content. The yellowness and optical density of drinks at a wavelength of 350 nm depended on the amount of phenolic substances. The color index of beer depended on the content of melanoidins.
The modern dealcoholization technologies make it possible to produce non-alcoholic beverages with the same sensory properties as their alcoholic prototypes. However, these technologies can be improved in terms of bound carbon dioxide, proteins, phenolic substances, and flavor.

Keywords. Beverages, non-alcoholic beer, sparkling wine, carbon dioxide desorption, aroma, phenolic substances, acidity, descriptors

For citation: 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

Введение

Среди современных трендов на рынке напитков брожения отмечено увеличение спроса на слабоалкогольную и безалкогольную продукцию, в том числе содержащую в составе диоксид углерода. Ассоциацией производителей пива (https://beerassociation.ru) за полтора года (с 2020 по 2021 гг.) было проанализировано 2,5 млн онлайн-заказов. В категории безалкогольного пива был отмечен рост на 10 % в 2020 г., в начале 2021 г. – на 15 %. Более 95 % заказов составляло светлое пиво. По данным международного маркетингового агентства Fact.MR (https://factmr.com), ожидается рост мировых продаж безалкогольных вин в среднем на 10,4 %, объем которых к 2031 г. может составить $4,4 млрд. Объясняется это тем, что многим людям алкоголь противопоказан по состоянию здоровья или религиозным убеждениям, а также здоровым образом жизни, который ведет часть населения [1]. Кроме того, многие автолюбители во время торжественных событий или делового ужина предпочитают не отказывать себе в бокале безалкогольного вина или пива. Специально для таких категорий граждан производители предлагают широкую линейку безалкогольной продукции. Помимо низкого содержания спирта, безалкогольное пиво богато био-

логически активными соединениями, в том числе полифенолами [2–6]. Безалкогольные вина содержат полезные микро- и макроэлементы, а также антиоксиданты, относящиеся к фенольным веществам (галловая кислота, кверцетин, катехин, эпикатехин и др.) [7].

Из-за того, что процесс удаления спирта сопровождается потерей ароматических веществ и снижением растворимости ряда веществ экстракта, вкус напитка изменяется в худшую сторону. Многие потребители отмечают, что органолептические свойства безалкогольного пива и вина уступают своим традиционным аналогам [8]. Использование вакуума вместе с нагреванием, помимо ухудшения органолептических свойств пива или вина, увеличивает содержание экстрактивных веществ, а незначительная часть фенольных веществ разрушается. Также в вине могут проходить нежелательные процессы меланоидинообразования. В СССР был запатентован способ получения безалкогольного вина, насыщенного диоксидом углерода (АС СССР № 1268106), включающий вакуумную дистилляцию вина с возвращением в него ароматической фракции без спирта, разбавление дистиллированной водой, насыщение диоксидом углерода, обеспложивающую фильтрацию и стабилизацию аскорбиновой кислотой и сернистым ангидридом, стерильный изобарический розлив. Также в СССР были разработаны ТУ 18-6-44-85 на пиво столовое слабоалкогольное.

Технологии постоянно совершенствуются. Ряд производителей уже приблизили вкусовые характеристики своего безалкогольного пива к вкусу привычных образцов. Например, описан способ производства пива «Балтика безалкогольное» (патент № 2195481), при котором удаление спирта проводится до его содержания в пиве не более 0,5 % путем пропускания через мембрану из полых волокон. Такой способ позволил сохранить органолептические характеристики, свойственные традиционному пиву. Деалкоголизация пива и вина с помощью мембран считается одним из наиболее перспективных способов получения качественных напитков [9]. В Бразилии применяют метод прямого осмоса [10]. Также известны способы получения безалкогольного пива с использованием несахаромицетных дрожжей [11–16].

Производство качественного безалкогольного вина может включать прямой и обратный осмос, диализ и вымораживание, а также мембранную пертракцию, осмотическую дистилляцию и экстракцию органическими растворителями (патент фирмы Peter Eckes №82102463.5) и жидким диоксидом углерода [17, 18]. Хотя современные технологии позволяют получать более качественные напитки, многие авторы отмечают различия в аромате и вкусе соответствующей алкогольной и безалкогольной продукции, а некоторые исследователи предлагают считать безалкогольное пиво и вино самостоятельными напитками, имеющими свой сегмент на потребительском рынке.

Несмотря на то что происходящие при деалкоголизации напитков изменения состава описаны широко, влияние этих процессов на типичные свойства конечного продукта изучено недостаточно.

Цель исследования – изучение типичных свойств промышленных образцов пива и игристого вина с различной объемной долей этилового спирта.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись приобретенные в торговой сети пиво и игристое вино с различным содержанием этанола (табл. 1).

В полученных образцах определяли игристые свойства согласно разработанной методике СТО 01586301.040-2022 [19]. Ее сутью являлось измерение скорости десорбции CO_2 из пробы при сбросе давления до атмосферного. Пенистые свойства вина (максимальный объем пены и время ее разрушения) устанавливали по разработанной методике СТО 01580301.015-2017. Согласно этой методике в мерный цилиндр (вместимостью 1 $дм^3$) наливали 200 $см^3$ дегазированной пробы вина. С помощью портативного компрессора и распылителя, опущенного на дно мерного цилиндра, осуществляли барботаж вина воздухом, при этом происходило его вспенивание. Максимальный объем пены определяли визуально с помощью градуировки цилиндра, время разрушения пены – с помощью секундомера. Пенистые свойства пива выявляли согласно ГОСТ 30060-2022 и СТО 01580301.015-2017 (для сравнения).

Общее содержание диоксида углерода в винах определяли по методике СТО 01580301.016-2017, согласно которой выделившийся из напитка под действием ультразвука CO_2 вытеснял затворную жидкость из градуированной емкости. Объем вытесненной затворной жидкости соответствовал объему содержавшегося в бутылке с напитком диоксида углерода. Расчет содержания связанных форм диоксида углерода осуществляли по методу А. А. Мержаниана по разности между измеренным содержанием CO_2 и его растворимостью при определенном давлении и концентрации этанола. Содержание CO_2 в пиве устанавливали по ГОСТ 32038-2012 и СТО 01580301.016-2017, поскольку ГОСТ 32038 не позволяет определять содержание связанного CO_2 в пиве.

Общее содержание фенольных веществ, мономерных фенольных веществ и полифенолов определяли колориметрическим методом по реакции Фолина-Чокальтеу. Динамическую вязкость измеряли при помощи вискозиметра (ВПЖ-1). Показатель желтизны и спектр оптической плотности вина и пива на различных длинах волн устанавливали при помощи спектрофотометра в кювете толщиной 10 мм.

Таблица 1. Характеристика образцов пива и игристого вина с различным содержанием этанола

Table 1. Beer and sparkling wine with different ethanol content

Наименование напитка и нормативная документация	Тара	Состав (приведенный на этикетке)
Напиток безалкогольный «Крым безалкогольное», сильногазированный, пастеризованный, ГОСТ 28188-2014	Бутылка стеклянная, объем 0,50 дм^3	Вода питьевая подготовленная, экстракт ячменного солода светлый сброженный, хмелепродукты. Углеводы – 50 г/дм^3. Алкоголь – 0 %об.
Пиво светлое фильтрованное пастеризованное «Крым светлое», ГОСТ 31711-2012	Бутылка стеклянная, объем 0,50 дм^3	Вода питьевая подготовленная, солод пивоваренный ячменный светлый, ячмень пивоваренный, хмель. Экстрактивность начального сусла – 11,0 %. Углеводы – 46 г/дм^3. Алкоголь – 4,4 %об.
Пивной напиток безалкогольный «Хейнекен 0,0» пастеризованный, ГОСТ Р 55292-2012	Бутылка стеклянная, объем 0,47 дм^3	Вода очищенная, солод пивоваренный ячменный светлый, натуральный пищевой ароматизатор, хмелепродукты. Углеводы – 40 г/дм^3. Алкоголь – 0,3 %об.
Пиво светлое пастеризованное «Хейнекен», ТУ 11.05.10-001-44336385-2019	Бутылка стеклянная, объем 0,47 дм^3	Вода очищенная, солод пивоваренный ячменный светлый, хмелепродукты. Экстрактивность начального сусла – 11,2 %. Углеводы – 30 г/дм^3. Алкоголь – 4,8 %об.
Пиво светлое безалкогольное «Балтика безалкогольное» № 0 пастеризованное, ТУ 11.05.10-001-01824944-2019	Бутылка стеклянная, объем 0,45 дм^3	Вода питьевая очищенная, солод ячменный светлый, солодовый экстракт, ячмень пивоваренный, хмелепродукты. Углеводы – 60 г/дм^3. Алкоголь – 0,5 %об.
Пиво светлое «Балтика классическое» № 3 пастеризованное, ТУ 11.05.10-001-01824944-2019	Бутылка стеклянная, объем 0,45 дм^3	Вода питьевая очищенная, солод ячменный светлый, хмелепродукты. Экстрактивность начального сусла – 11,5 %. Углеводы – 35 г/дм^3. Алкоголь – 4,8 %об.
Пиво «Стелла Артуа» безалкогольное светлое, пастеризованное, ТУ 9184-033-704449753-2014	Бутылка стеклянная, объем 0,44 дм^3	Вода питьевая, солод пивоваренный ячменный, глюкозо-фруктозный сироп, хмель, хмелепродукты. Углеводы – 45 г/дм^3, жиры – 0 г/л, белок – 3 г/дм^3. Алкоголь – 0,5 %об.
Пиво «Стелла Артуа» светлое, пастеризованное, ТУ 9184-034-704449753-2014	Бутылка стеклянная, объем 0,44 дм^3	Вода питьевая, солод пивоваренный ячменный, хмель, хмелепродукты. Экстрактивность начального сусла – 11,25 %. Углеводы – 45 г/дм^3, жиры – 0 г/дм^3, белок – 7 г/дм^3. Алкоголь – 5,0 %об.
Напиток безалкогольный сильногазированный Light house sparkling, выработанный по специальной технологии деалкоголизации, сохраняющей все вкусовые качества и богатства букета виноградного вина. Год урожая 2020. Дата розлива: 17.12.2021	Бутылка стеклянная, объем 0,75 дм^3	82 % безалкогольного белого вина из сорта Сильванер, виноградное сусло, сахароза, диоксид углерода, аскорбиновая кислота, SO_2. Углеводы – 68 г/дм^3, белок – 0 мг/дм^3. Алкоголь – 0,5 %об.
Вино игристое белое брют акратофорное. Год урожая 2021. Дата розлива 3.03.2022, ГОСТ 33336-2015	Бутылка стеклянная, объем 0,75 дм^3	Вино из винограда сорта Рислинг рейнский, SO_2. Углеводы – 13 г/дм^3. Алкоголь – 11,8 %об.

Цвет пива выявляли по ГОСТ 12789-2022. Массовую концентрацию титруемых кислот вин определяли по ГОСТ 32114-2012, кислотность пива – по ГОСТ 12788-87, pH пива – по ГОСТ 31764-2012, pH вина – потенциометрическим методом с помощью pH-метра. Массовую концентрацию белка в вине устанавливали путем его осаждения трихлоруксусной кислотой, растворения осадка щелочью и взаимодействия полученного раствора с реактивом Фолина-Чокальтеу, интенсивность окраски которого пропорциональна концентрации белка, в пиве – путем определения содержания общего азота методом Кьельдаля и умножения на коэффициент пересчета 6,25. Массовую концентрацию меланоидинов определяли колориметрическим методом в кювете с толщиной 10 мм при длине волны 420 нм по калибровочному графику стандартного раствора меланоидинов, полученного из глицина и глюкозы.

Органолептическую оценку пива проводили в соответствии с ГОСТ 30060 и ГОСТ 31711 по 25-балльной системе (минимально допустимая оценка 12 баллов). При оценке аромата и вкуса пива учитывали вклад отдельных дескрипторов в их сложение [20, 21]. Органолептическую оценку игристых вин проводили по 10-балльной системе (минимально допустимая оценка 8,80 баллов), а также по количественному вкладу отдельных дескрип-

торов в сложение аромата и вкуса вин. Выбор дескрипторов осуществляли в соответствии с ISO 5492, ISO 11035 и [22].

Результаты и их обсуждение

Поскольку технологии производства безалкогольного пива различаются, то на первом этапе работы провели органолептическую оценку безалкогольного пива различных торговых марок в сравнении с алкогольным пивом тех же производителей для определения наиболее близкой по качеству пары с самыми высокими дегустационными баллами. Безалкогольное вино было представлено единственным производителем (табл. 2).

В результате более высокие дегустационные оценки при минимальной разнице (2 балла) получили пиво «Стелла Артуа» безалкогольное светлое и пиво «Стелла Артуа» светлое. В связи с этим данную пару взяли в качестве эталонной для дальнейших исследований.

Затем провели исследование игристых свойств напитков. Результаты представлены на рисунке 1 и в таблице 3.

Сравнение динамики десорбции CO_2 из безалкогольного напитка «Крым» и пива «Крым» (рис. 1a) показало, что напиток быстрее терял диоксид углерода с первой до последней минуты анализа. Об этом свидетельствовали большие скорость и угол наклона кривой десорбции (табл. 3), что может быть связано с технологическими особенностями производства этого продукта. Однако за счет большего содержания CO_2 в пробе коэффициент игристых свойств данного напитка был на 1,5 % лучше, чем у пива «Крым».

Сравнение динамики десорбции CO_2 из безалкогольного и алкогольного пива других производителей (рис. 1b–d) показало одинаковую картину: на начальном этапе выделение диоксида углерода из безалкогольного пива шло интенсивнее, чем из алкогольного, затем процесс замедлялся. В то же время десорбция CO_2 из алкогольного пива протекала более равномерно, хотя скорость и угол наклона кривой десорбции диоксида углерода в таком пиве были выше, чем в безалкогольном. Равномерному течению десорбции может способствовать большая вязкость и наличие связанных форм диоксида углерода в алкогольном пиве, которые замедляют процесс выделения CO_2. Однако на конечном этапе процесса десорбции CO_2 более существенную роль начинал играть коэффициент растворимости диоксида углерода в напитках, который снижался с увеличением концентрации спирта.

Подобная картина прослеживается и при сравнении двух игристых вин с разным содержанием этилового спирта (рис. 1e). Безалкогольное игристое вино на 5 минуте процесса десорбции выделяло в 2 раза больше CO_2, чем алкогольное игристое вино. Затем на 41 минуте количество выделяемого CO_2 сравнялось и уже из алкогольного игристого вина выделялось больше. Несмотря на то что скорость и угол наклона кривой десорбции в алкогольном игристом вине были выше, чем в безалкогольном, значение коэффициента игристых свойств было выше у алкогольного напитка за счет большего количества связанных форм диоксида углерода (табл. 4).

Пенистые свойства у алкогольного пива и вина были лучше, чем у безалкогольных аналогов (табл. 5). Следует отметить, что высота пены и максимальный ее объем двух сравниваемых образцов пива были одинаковыми, отличия отмечены только в пенистости и в процессе разрушения пены. Это имело корреляцию с содержанием белка и полифенолов, которые образуют с белками комплексы и стабилизируют пену [23].

В случае игристых вин в обоих образцах пенистые свойства были невысокими, что было связано с низким содержанием белковых веществ в результате обработок оклеивающими веществами. Даже небольшое содержание белка в игристом вине (4 мг/дм^3) способствовало улучшению пенистых свойств напитка в сравнении с безалкогольным игристым вином, в котором белок присутствовал в количестве 0,5 мг/дм^3.

При сравнении кислотности пива, а также показателя pH установлено, что их значения были очень

Таблица 2. Органолептическая оценка пива и пивных напитков с разным содержанием этанола

Table 2. Beer and beer drinks with different ethanol content: sensory evaluation

Наименование напитка	Дегустационная оценка, балл
Напиток «Крым безалкогольное», сильногазированный	Не оценивался
Пиво фильтрованное «Крым светлое»	23,0
Пивной напиток безалкогольный «Хейнекен 0,0»	20,5
Пиво светлое «Хейнекен»	22,5
Пиво «Стелла Артуа» безалкогольное светлое	21,5
Пиво «Стелла Артуа» светлое	23,5
Пиво светлое «Балтика безалкогольное» № 0	21,0
Пиво светлое «Балтика классическое» № 3	23,5
Напиток безалкогольный сильногазированный Light house sparkling	8,8
Вино игристое белое брют акратофорное	8,9

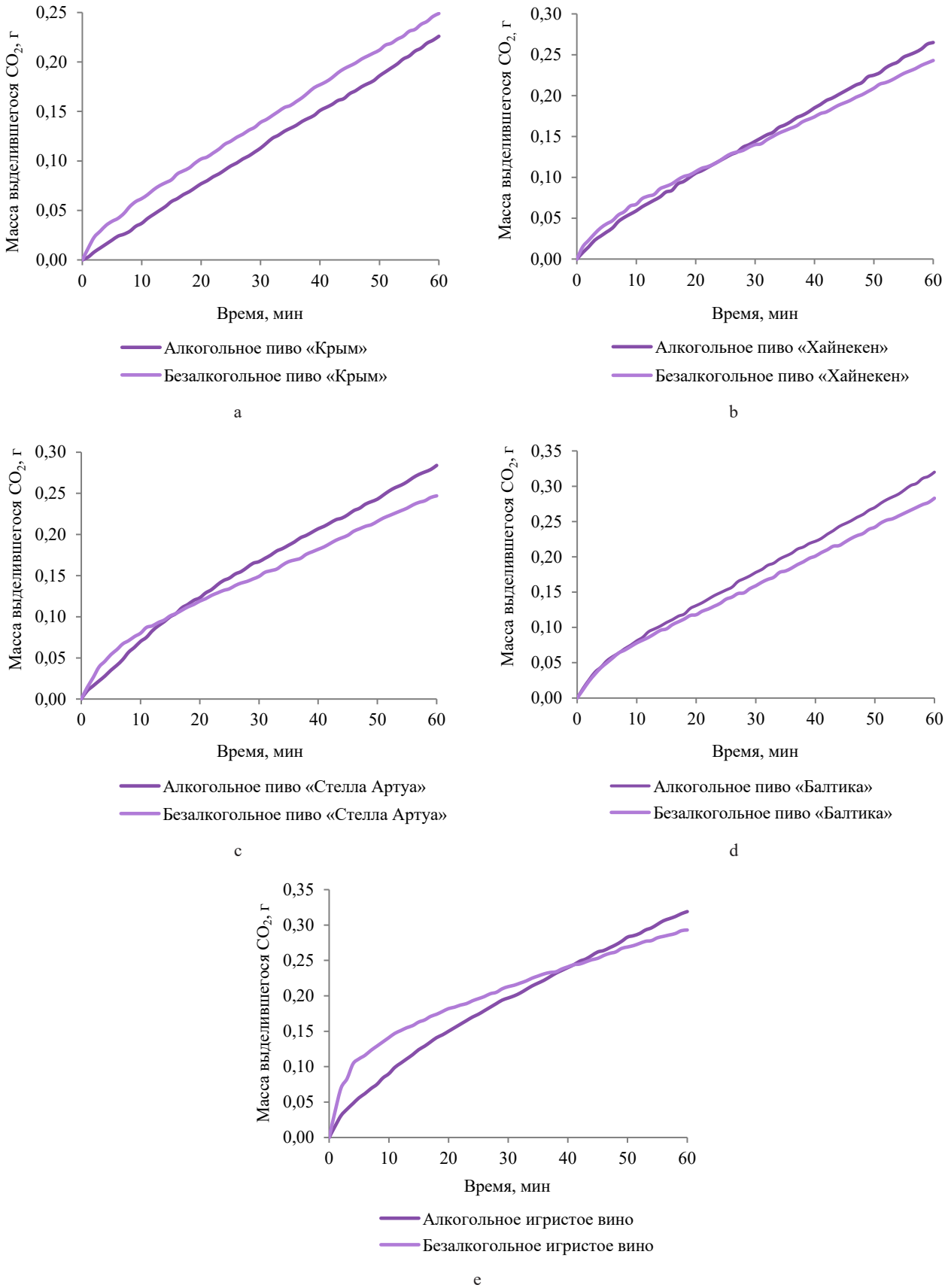


Рисунок 1. Динамика десорбции диоксида углерода из пива и игристых вин с различным содержанием этанола

Figure 1. Carbon dioxide desorption from beer and sparkling wines with different ethanol content

Таблица 3. Показатели игристых свойств напитков

Table 3. Sparkling properties

Наименование напитка	Содержание CO_2 в пробе, г	Скорость десорбции CO_2 из пробы на отрезке времени (0–60 мин), мг/мин	Угол наклона кривой десорбции CO_2, °	Коэффициент игристых свойств (отношение содержания CO_2 в пробе к скорости десорбции CO_2)
Напиток «Крым безалкогольное», сильногазированный	0,343	4,150	0,2378	82,65
Пиво фильтрованное «Крым светлое»	0,307	3,767	0,2158	81,50
Пивной напиток безалкогольный «Хейнекен 0,0»	0,367	4,050	0,2320	90,62
Пиво светлое «Хейнекен»	0,370	4,417	0,2531	83,77
Пиво «Стелла Артуа» безалкогольное светлое	0,331	4,117	0,2359	80,40
Пиво «Стелла Артуа» светлое	0,376	4,733	0,2712	79,43
Пиво светлое «Балтика безалкогольное» № 0	0,356	4,717	0,2702	75,48
Пиво светлое «Балтика классическое» № 3	0,397	5,333	0,3056	74,44
Напиток безалкогольный сильногазированный Light house sparkling	0,348	4,883	0,2798	71,26
Вино игристое белое брют акратофорное	0,472	5,317	0,3046	88,78

Таблица 4. Содержание различных форм диоксида углерода в напитках (в бутылке)

Table 4. Content of various forms of carbon dioxide in beverages, per bottle

Наименование напитка	PCO_2, кПа	mCO_2 общ., г	mCO_2 раств., г	mCO_2 газ, г	mCO_2 связ., г	ωCO_2 связ., %
Пиво «Стелла Артуа» безалкогольное светлое	230 (270)	2,424	2,274	0,078	0,072	3,0
Пиво «Стелла Артуа» светлое	220 (240)	2,305	2,100	0,076	0,129	5,6
Напиток безалкогольный сильногазированный Light house sparkling	500 (650)	7,501	7,033	0,136	0,331	4,4
Вино игристое белое брют акратофорное	345 (445)	5,160	4,454	0,126	0,579	11,2

Примечание: PCO_2 – равновесное давление CO_2 (в скобках давление после встряхивания); mCO_2 общ. – общее содержание CO_2; mCO_2 раств. – содержание растворенного CO_2; mCO_2 газ – содержание CO_2 в воздушной камере бутылки с напитком; mCO_2 связ. – содержание связанных форм CO_2; ωCO_2 связ. – массовая доля связанных форм CO_2.

Note: PCO_2 is the equilibrium pressure of CO_2; the after-shaking pressure is given in brackets; mCO_2 общ. is the total content of CO_2; mCO_2 раств. is content of dissolved CO_2; mCO_2 газ is the content of CO_2 in the air chamber of the bottle; mCO_2 связ. is the content of bound CO_2; ωCO_2 связ. is the mass fraction of bound CO_2.

близки между собой, что может свидетельствовать о схожести процессов приготовления напитков (основного брожения), во время которого образуются основные кислоты пива (уксусная, молочная, янтарная, лимонная, яблочная и др.). В игристом вине значение показателя pH было ниже, чем в безалкогольном, а массовая концентрация титруемых кислот в пересчете на винную была на 20 % выше. Это связано как с сортовыми особенностями используемого виноматериала, так и с технологией приготовления вина.

Следует отметить, что алкогольное пиво визуально имело более интенсивный светло-янтарный цвет, о чем свидетельствовали показатели цвета и желтизны. У игристых вин более интенсивный светло-золотистый цвет был у безалкогольного вина, в то время как алкогольное игристое имело бледный светло-соломенный цвет. В обоих случаях цвет продукта зависел от состава и общего содержания фенольных веществ. Корреляция между показателем желтизны и суммой фенольных веществ составила к = 0,905, а между показателем желтизны и массовой концентрацией полимерных форм фенольных веществ – к = 0,892. В пиве также отмечена высокая корреляция между показателем цвет и концентрацией меланоидинов (к = 0,965).

На рисунке 2 представлены спектры соответствующих напитков.

Таблица 5. Физико-химические показатели напитков

Table 5. Physical and chemical indicators

Наименование напитка	К	pH	G	Ц, ц.ед	В, мм^2/с	V_{max}, см^3	t раз, с	ВП, см	П, мин	Б, мг/дм^3	М, мг/дм^3	ОФ, мг/дм^3	МФ, мг/дм^3	ПФ, мг/дм^3
Пиво «Стелла Артуа» безалкогольное светлое	1,7	4,340	29,7	0,48	1,0819	> 1200	3529	70	4	2750	147	310	267	43
Пиво «Стелла Артуа» светлое	1,6	4,345	33,3	0,59	1,2484	> 1200	8917	70	6	4375	172	326	220	106
Напиток безалкогольный сильногазированный Light house sparkling	5,6	3,250	11,7	–	1,0837	60	2	–	–	0,5	–	275	270	5
Вино игристое белое брют акратофорное	7,1	3,200	6,2	–	1,3982	100	3	–	–	4	–	190	188	2

Примечание: К – кислотность пива (к.ед.) и массовая концентрация титруемых кислот вина (г/дм^3); pH – водородный показатель; G – показатель желтизны; Ц – цвет; В – значение динамической вязкости; V_{max} – максимальный объем пены; $t_{раз}$ – время разрушения пены; ВП – высота пены; П – пенистость; Б – содержание белка; М – содержание меланоидинов; ОФ – общее содержание фенольных веществ; МФ – содержание мономерной фракции фенольных веществ; ПФ – содержание полимерной фракции фенольных веществ.

Note: K is the acidity of beer (c.u.) and mass concentration of titratable acids of wine (g/dm^3); pH is the pH value; G is the yellowness index; Ц is the color; B is the dynamic viscosity value; V_{max} is the maximal foam volume; t is the foam destruction time; ВП is the foam thickness, П is the foaminess, Б is the protein content, M is the melanoidin content, ОФ is the total content of phenolic substances, МФ is the content of monomeric fraction of phenolic substances, ПФ is the content of polymeric fraction of phenolic substances.

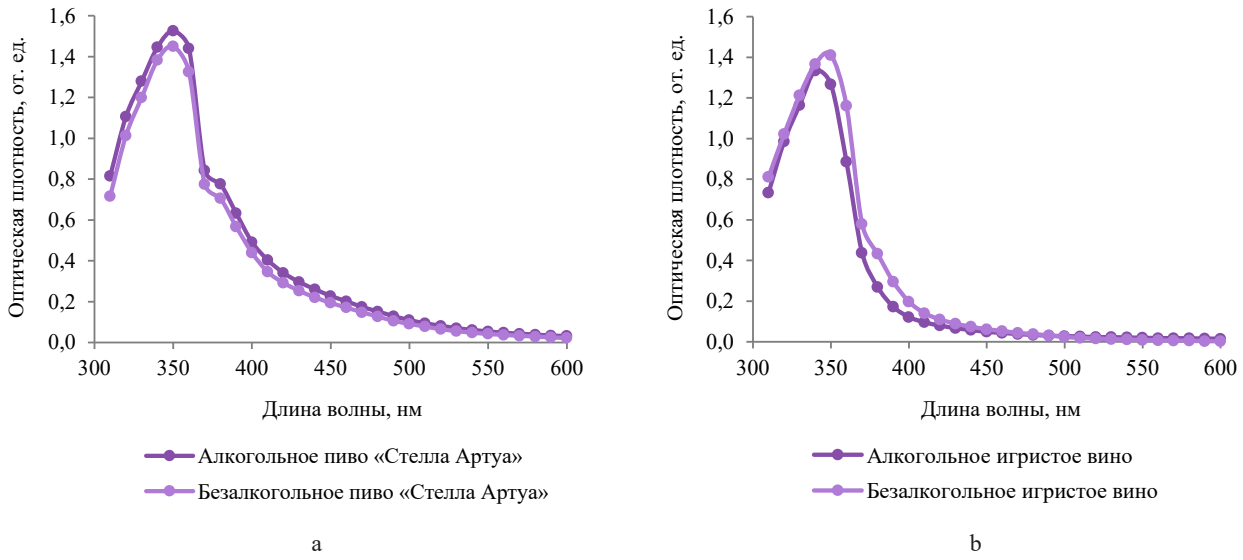


Рисунок 2. Спектр оптической плотности пива и игристых вин с различным содержанием этанола

Figure 2. Beer and sparkling wines with different ethanol content: optical density spectrum

Анализ спектров показал, что алкогольное пиво на всех измеренных длинах волн показывало большее значение оптической плотности, чем безалкогольное (рис. 2a). Для игристых вин (рис. 2b) картина была обратной: безалкогольное вино имело более высокие значения оптической плотности. Максимальное значение оптической плотности наблюдалось при длине волны 350 нм, а небольшое искривление – при длине волны 380 нм. Значение оптической плотности при длине волны 350 нм имело высокую корреляцию с концентрацией суммы фенольных веществ (к = 0,983), значение оптической плотности при длине волны 380 нм – высокую корреляцию с концентрацией полимерных форм фенольных веществ (к = 0,877).

Провели сравнительный органолептический анализ пива по 6 дескрипторам по суммарной 25-балльной шкале (прозрачность – до 3 баллов, цвет –

Рисунок 3. Органолептический профиль пива

Figure 3. Beer: sensory profile

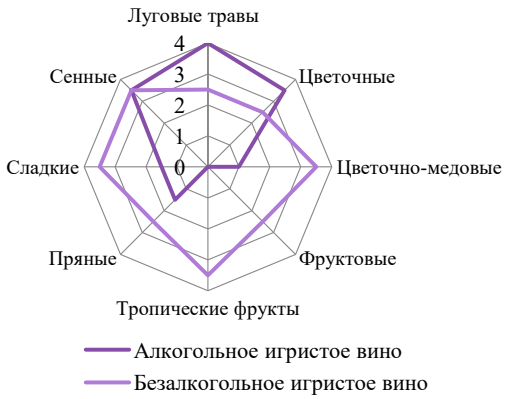


Рисунок 4. Ароматический профиль игристых вин

Figure 4. Sparkling wines: flavor

Рисунок 5. Вкусовой профиль игристых вин

Figure 5. Sparkling wines: taste

до 3 баллов, вкус – до 5 баллов, хмелевая горечь – до 5 баллов, аромат – до 4 баллов, пенообразование – до 5 баллов) (рис. 3).

Было установлено, что по прозрачности и хмелевой горечи оба образца были практически одинаковыми. У алкогольного пива был более насыщенный цвет, чуть более полный вкус и лучше (типичнее) аромат и пенистость, хотя качество безалкогольного пива было высоким и характерным для данного вида продукции.

Сравнительный органолептический анализ ароматического профиля вина проводили по 8 дескрипторам по 5-балльной шкале для каждого дескриптора (рис. 4) и вкусового профиля вина по 6 дескрипторам по 5-балльной шкале для каждого дескриптора (рис. 5).

Ароматический комплекс сильно отличался у алкогольного и безалкогольного игристого вина, что было связано как с сортовыми особенностями использованных виноматериалов, так и с технологией производства. Алкогольное игристое вино было выработано из виноматериалов сорта Рислинг рейнский, что способствовало появлению цветочных и сенных оттенков, а также оттенков луговых трав с легкой пряной нотой. Безалкогольное игристое вино было выработано из виноматериала сорта Сильванер с добавлением виноградного сусла. В связи с этим в вине появились цветочно-медовые, фруктовые оттенки и оттенки тропических фруктов, а также сладкие, пряные и сенные.

Анализ вкусового профиля вин показал, что у алкогольного вина был достаточно гармоничный свежий кислотный вкус с пикантной горчинкой и легкими пряными оттенками. Безалкогольное вино отличалось более мягким, менее свежим и менее кислотным вкусом со сладкими медовыми и леденцовыми оттенками. Тем не менее в таком исполнении безалкогольное вино было гармоничным во вкусе.

Выводы

В результате проведенного анализа типичных свойств напитков с различным содержанием этанола установлено, что коэффициент игристых свойств безалкогольного пива на 1,2–7,5 % выше, чем в алкогольном пиве. Это связано с лучшей растворимостью диоксида углерода в безалкогольном пиве. Коэффициент игристых свойств алкогольного игристого вина был на 19,7 % выше, чем у безалкогольного игристого. Это связано с большим содержанием связанных форм диоксида углерода в алкогольном напитке. На начальном этапе выделение диоксида углерода из безалкогольного пива и вина шло интенсивнее, чем из алкогольных напитков, затем этот процесс замедлился и на последней стадии скорость десорбции CO_2 из алкогольных напитков была выше. Более равномерному течению процесса десорбции CO_2 из алкогольных напитков способствовали присущие им большие динамическая вязкость и содержание связанных форм диоксида углерода.

Пенистые свойства были лучшими в алкогольных напитках, что имело корреляцию с содержанием белков. По цветовым характеристикам основные различия были связаны с содержанием суммы фенольных веществ и полимерной фракции фенольных веществ, а в пиве еще с содержанием меланоидинов. Установлена высокая корреляция оптической плотности при длине волны 350 нм с массовой концентрацией суммы фенольных веществ (к = 0,983) и при длине волны 380 нм с содержанием полифенолов (к = 0,877), а также корреляция значения показателя желтизны и суммы фенольных веществ (к = 0,905) и показателя желтизны и массовой концентрации полимерных форм фенольных веществ (к = 0,892). Кроме того, показатель цвета пива коррелировал с содержанием меланоидинов (к = 0,965).Органолептические характеристики алкогольного и безалкогольного пива были близки между собой. У алкогольного пива был более насыщенный цвет, более полный вкус и лучше (типичнее) аромат, выше устойчивость пены. Ароматический и вкусовой профиль игристых вин отличался, что было связано с сортовыми особенностями используемого сырья и его составом.

Полученные данные свидетельствуют о том, что современные технологии производства безалкогольного пива и вина позволяют вырабатывать продукцию по своим типичным свойствам близкую к аналогичным алкогольным напиткам. Необходимо дальнейшее их совершенствование с целью улучшения качества безалкогольной продукции за счет сохранения в ней связанных форм CO_2, белков, фенольных веществ и аромата.

Критерии авторства

И. П. Лутков – планирование экспериментов, формулирование цели и проведение исследований, подготовка статьи. Д. В. Ермолин – редактирование статьи и формулирование выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность Н. А. Шмигельской.

Contribution

I.P. Lutkov designed the experiments, set up the goals, conducted the research, and wrote the manuscript. D.V. Yermolin proofread the manuscript and formulated the conclusions.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Acknowledgements

The authors express their sincere gratitude to N.A. Shmigelskaya.

References/Список литературы

1. Kharlamova LN, Danilyan AV, Sinelnikova MYu, Matveeva DYu. Non-alcoholic beer: Confirmation of quality. Production Quality Control. 2021;(10):44–47. (In Russ.). https://doi.org/10.35400/2541-9900-2021-10-44-47

2. Trius-Soler M, Vilas-Franquesa A, Tresserra-Rimbau A, Sasot G, Storniolo CE, Estruch R, *et al.* Effects of the non-alcoholic fraction of beer on abdominal fat, osteoporosis, and body hydration in women. Molecules. 2020;25(17). https://doi.org/10.3390/molecules25173910

3. Osorio-Paz I, Brunauer R, Alavez S. Beer and its non-alcoholic compounds in health and disease. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020;60(20):3492–3505. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1696278

4. Nardini M, Garaguso I. Characterization of bioactive compounds and antioxidant activity of fruit beers. Food Chemistry. 2020;305. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125437

5. Boronat A, Soldevila-Domenech N, Rodríguez-Morató J, Martínez-Huélamo M, Lamuela-Raventós RM, de la Torre R. Beer phenolic composition of simple phenols, prenylated flavonoids and alkylresorcinols. Molecules. 2020;25(11). https://doi.org/10.3390/molecules25112582

6. Wannenmacher Ju, Gastl M, Becker T. Phenolic substances in beer: Structural diversity, reactive potential and relevance for brewing process and beer quality. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2018;17(4):953–988. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12352

7. Tomaskova L, Prusova B, Baron M, Kumsta M, Sochor J. The study of polyphenols in dealcoholized wine. Mitteilungen Klosterneuburg. 2017;67:139–148.

8. Muller C, Neves LE, Gomes L, Guimaraes M, Ghesti G. Processes for alcohol-free beer production: A review. Food Science and Technology. 2020;40(2):273–281. https://doi.org/10.1590/fst.32318

9. Mangindaan D, Khoiruddin K, Wenten IG. Beverage dealcoholization processes: Past, present, and future. Trends in Food Science and Technology. 2018;71:36–45. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.018

10. Ambrosi A, Motke MB, Souza-Silva EA, Zini CA, McCutcheon JR, Cardozo NSM, *et al.* Beer dealcoholization by forward osmosis diafiltration. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2020;63. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102371

11. Kobelev KV, Volkova TN, Selina IV, Sosinova MS. Methods of alcohol-free and low alcohol beer production. Beer and Beverages. 2020;(2):24–30. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10017

12. Kobelev KV, Volkova TN, Selina IV, Sosinova MS. Non-saccharomyces yeasts in low alcohol beer production. Beer and Beverages. 2020;(3):6–12. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10024

13. De Francesco G, Sannino C, Sileoni V, Marconi O, Filippucci S, Tasselli G, *et al. Mrakia gelida* in brewing process: An innovative production of low alcohol beer using a psychrophilic yeast strain. Food Microbiology. 2018;76:354–362. https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.06.018

14. Bellut K, Michel M, Zarnkow M, Hutzler M, Jacob F, De Schutter DP, *et al.* Application of non-*Saccharomyces* yeasts isolated from kombucha in the production of alcohol-free beer. Fermentation. 2018;4(3). https://doi.org/10.3390/fermentation4030066

15. Bellut K, Michel M, Hutzler M, Zarnkow M, Jacob F, De Schutter DP, *et al.* Investigation into the potential of *Lachancea fermentati* strain KBI 12.1 for low alcohol beer brewing. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2019;77(3):157–169. https://doi.org/10.1080/03610470.2019.1629227

16. Iorizzo M, Coppola F, Letizia F, Testa B, Sorrentino E. Role of yeasts in the brewing process: Tradition and innovation. Processes. 2021;9(5). https://doi.org/10.3390/pr9050839

17. Huang J, Ren Y, Wang X, Li H, Wang Y, Zhang J, *et al.* Dealcoholization of kiwi wine by forward osmosis: Evaluation of membrane fouling propensity and product quality. Chemical Engineering Research and Design. 2022;178:189–198. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.12.032

18. Esteras-Saz J, de la Iglesia O, Pena C, Escudero A, Tellez C, Coronas J. Theoretical and practical approach to the dealcoholization of water-ethanol mixtures and red wine by osmotic distillation. Separation and Purification Technology. 2021;270. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118793

19. Lutkov IP. Evaluation of sparkling properties of beverages. Magarach. Viticulture and Vinemaking. 2022;24(1):63–70. (In Russ.). https://doi.org/10.35547/IM.2022.78.26.010

20. Patrikeeva AM, Kanarskaya ZA, Kanarskiy AV. Sensory indicators of Baltika light beer. Fundamental and applied aspects of modern science: a collection of papers based on the materials of the International Competition for Research Papers; 2020; Ufa. Ufa: SPC Herald of Science; 2020. p. 26–31. (In Russ.). [Патрикеева А. М., Канарская З. А., Канарский А. В. Исследование органолептических показателей светлого пива «Балтика». Фундаментальные и прикладные аспекты развития современной науки: сборник трудов по материалам Международного конкурса научно-исследовательских работ. Уфа, 2020. С. 26–31.]. https://www.elibrary.ru/NIRIEQ

21. Müller M, Gastl M, Becker T. Key constituents, flavour profiles and specific sensory evaluation of wheat style non-alcoholic beers depending on their production method. Journal of the Institute of Brewing. 2021;127(3):262–272. https://doi.org/10.1002/jib.663

22. Arroyo BL, Roberts RP. How specific wine tasting descriptors are? Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2015;198:287–299. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.07.447

23. Lu Y, Bergenståhl B, Nilsson L. Interfacial properties and interaction between beer wort protein fractions and iso-humulone. Food Hydrocolloids. 2020;103. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105648

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2445
https://elibrary.ru/PKWKTU

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Перспективы использования дериватов промысловых животных

Е. А. Вечтомова[1,*], И. К. Куприна[1], М. М. Орлова[2], Т. А. Ларичев[1]

[1] Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

[2] КАО «Азот», Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 30.01.2023
Принята после рецензирования: 01.04.2023
Принята к публикации: 02.05.2023

**Е. А. Вечтомова: vechtomowa.lena@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-6842-4537*
И. К. Куприна: https://orcid.org/0000-0003-3909-1205
М. М. Орлова: https://orcid.org/0000-0002-9410-3662
Т. А. Ларичев: https://orcid.org/0000-0003-0166-2527

© Е. А. Вечтомова, И. К. Куприна, М. М. Орлова, Т. А. Ларичев, 2023

Аннотация.
Сырье животных охотничьего промысла является не только ценным трофеем, но и источником биологически активных веществ. Важной составляющей при производстве биологически активных добавок из данного сырья является оценка ресурсов и выявление видового разнообразия продукции. Целью работы являлись анализ рынка экспорта и импорта дериватов (на примере бурого медведя, оленя и кабарги), оценка спроса и предложения, а также анализ изменения ресурсов в течение трех лет.
Объектами анализа являлись данные, представленные в российских и зарубежных научных статьях по вопросу проведения учета особей животных охотничьего промысла в период 2016–2020 гг., а также таможенные сведения об импорте и экспорте данного вида сырья. Проводили систематизацию, анализ и описание.
Анализ данных показал, что на территории Российской Федерации численность особей бурого медведя постоянно растет. В 2018 г. произошло увеличение на 4 % в сравнении с 2017 г. Данный вид сырья нашел широкое применение в таких странах, как Китай, Италия, Франция и т. д. Общее число импортеров в 2019 г. составило более 25. В 2017 г. большая часть экспорта из России в 35 стран мира составили трофеи оленя. Лидирующая позиция среди стран импортеров данного сырья принадлежит Китаю. В 2018 г. объем экспорта трофеев оленя и кабарги оставался неизменным в стоимостном выражении, менялись только страны импортеры, общее количество которых оставалось высоким. В 2019 г. объем экспорта этих трофеев вырос в 1,4 раза, а количество стран импортеров достигло 50. Россия является лидером среди стран по экспорту и импорту сырьевой базы из трофеев и дериватов бурого медведя, оленя, кабарги и других охотничьих животных.
Рынок дериватов промысловых животных (бурый медведь, олень, кабарга и др.) активно развивается. Увеличение численности хищных промысловых животных, особенно бурого медведя, может негативно сказаться на других популяциях из-за нарушения баланса экосистем, в которых участвует этот хищник. Поэтому целесообразно проводить регулирование численности отдельных видов и производить трофеи. Учитывая содержание биологически активных веществ, сырье из промысловых животных следует использовать для производства новых видов продукции с функциональными свойствами.

Ключевые слова. Животные охотничьего промысла, животное сырье, бурый медведь, олень, кабарга, биологически активные добавки

Финансирование. Работа выполнена на базе Кемеровского государственного университета (КемГУ).

Для цитирования: Перспективы использования дериватов промысловых животных / Е. А. Вечтомова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 415–425. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2445

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2445
https://elibrary.ru/PKWKTU

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Prospects for Derivatives of Game Animals

Elena A. Vechtomova[1,*], Irina K. Kuprina[1], Maria M. Orlova[2], Timothy A. Larichev[1]

[1] *Kemerovo State University, Kemerovo, Russia*

[2] *KAO "Azot", Kemerovo, Russia*

Received: 30.01.2023
Revised: 01.04.2023
Accepted: 02.05.2023

**Elena A. Vechtomova: vechtomowa.lena@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-6842-4537*
Irina K. Kuprina: https://orcid.org/0000-0003-3909-1205
Maria M. Orlova: https://orcid.org/0000-0002-9410-3662
Timothy A. Larichev: https://orcid.org/0000-0003-0166-2527

© E.A. Vechtomova, I.K. Kuprina, M.M. Orlova, T.A. Larichev, 2023

Abstract.
Game animals are a source of biologically active substances that requires a strict resource and biodiversity control. The research objective was to analyze three years of supply, demand, export, and import for brown bear, deer, and musk deer by-products. The review featured Russian and foreign articles on game animals published in 2016–2020, as well as customs information on imports and exports for this raw material. The research methods included systematization, analysis, and description.
The population of brown bears in the Russian Federation is constantly growing. In 2018, it increased by 4% compared to 2017. Bear derivatives are in high demand in China, Italy, France, etc. The total number of importers in 2019 exceeded 25. In 2017, deer products were the most popular game derivatives exported from Russia to 35 countries. The biggest importer is China. In 2018, the volume of exports of deer and musk deer derivatives maintained the same value, but the list of importers changed. In 2019, the export volume increased by 1.4 times, and the number of importing countries reached 50. Russia is the leading exporter and importer of raw materials and derivatives from brown bears, deer, and musk deer.
The market for game derivatives is actively developing. An increase in the number of predatory game animals, e.g., the brown bear, may adversely affect the local ecosystems, which can be prevented by licensed hunting. The high content of biologically active substances makes it possible to use game raw materials for new functional products.

Keywords. Hunting animals, animal raw materials, brown bear, deer, musk deer, biologically active additives

Funding. The work was carried out on the premises of the Kemerovo State University (KemSU).

For citation: Vechtomova EA, Kuprina IK, Orlova MM, Larichev TA. Prospects for Derivatives of Game Animals. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):415–425. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2445

Введение

Животное сырье содержит в своем составе большое количество разнообразных веществ. Основная их часть представлена такими микронутриентами, как витамины и биологически активные вещества, которые необходимы для нормализации и поддержания работы организма человека. Дефицит микронутриентов может возникнуть при однообразном рационе, в результате чего могут нарушаться биохимические процессы, происходящие в организме. Возникают проблемы, связанные с кожей, опорно-двигательной, пищеварительной, кровеносной и нервной системами, нарушается сон и увеличивается количество свободных радикалов в организме.

Для поддержания качественной работы организма используют продукты функционального назначения. Основой таких продуктов является сырье, содержащее большое количество биологически активных веществ. Для увеличения степени воздействия на организм можно использовать чистые биологически активные вещества, которые были подвергнуты обработке. Наиболее часто биологически активные вещества применяются в качестве порошка или в капсулированном виде.

Актуален вопрос поиска новых источников биологически активных веществ. В связи с этим ученые изучили растительное сырье, описали его химический состав и определили компоненты, имеющие биологическую активность [1–12]. В народной медицине также используется сырье животного происхождения, полученное в результате охотничьего промысла. Ценен жир и желчь зимоспящих живот-

ных, таких как сурок, барсук и медведь. Благодаря большой численности и разнообразию животного мира удавалось получать препараты различного характера действия, что обусловлено рационом питания животных. Однако эффективность использования такого сырья в качестве источника биологически активных компонентов не имеет научного обоснования. Большая часть препаратов, которые применяются в народной медицине, не получила признания.

Получение дериватов из сырья охотничьего промысла имеет ряд ограничений: запрет и/или лимитированная добыча животных, сезонность получения дериватов, сложности хранения и первичной переработки на месте добычи [13–18].

Отсутствие надежной информации о состоянии видов заставляет менеджеров полагаться на эмпирические знания, мнения или представления, обычно полученные от персонала, связанного с агентствами по управлению природными ресурсами. Тем не менее точность этих источников информации остается непроверенной.

Информация о состоянии популяций диких животных необходима для информирования, принятия решений и оценки степени соответствия запланированным целям сохранения, управления или предотвращения нежелательных результатов от вмешательств. Отсутствие точных оценок параметров популяции (численность) или использование предвзятой информации при принятии решений может ввести в заблуждение при определении приоритетов действий по ее сохранению и управлению. Недостаточные финансовые ресурсы и логистические ограничения из-за сурового климата или труднодоступности препятствуют проведению надежных оценок численности, особенно в развивающихся странах. В некоторых исследованиях указана полезность привлечения обученных местных жителей к мониторингу и оценке природоохранных программ.

Охотничье давление с целью получения частей тела медведя и преследование, связанное с конфликтом, в сочетании с антропогенной потерей среды обитания привели к резкому сокращению популяции медведей. Многие популяции медведей были уничтожены задолго до появления информации об их статусе. Надежные данные о состоянии медведей ограничены.

Целью данной работы являлось проведение анализа сырьевой базы животных охотничьего промысла на примере медведя и трофеев, полученных от данного животного, для определения возможности получения БАД на основе дериватов медведя. Еще одна цель – оценка стран, которые наиболее часто являются потребителями данного вида сырья или которые занимаются его поставками.

Организм человека подвержен различным опасностям со стороны вирусов. Но благодаря препаратам полезного действия на основе желчи медведя можно укрепить иммунитет человека.

В начале 1980-х гг. в Северной Корее появились первые фермы по выращиванию медведей, которые затем распространились на другие регионы. Главной особенностью этих ферм является то, что уничтожение животного не требуется. Через катетер из желчного пузыря извлекается необходимое количество желчи, а медведь после небольшого отдыха восстанавливается и снова продолжает свою жизнедеятельность (Распоряжение Правительства РФ от 03.07.2014 № 1216-р «Стратегия развития охотничьего хозяйства в Российской Федерации до 2030 года») [19].

Цель исследования – оценка экспорта и импорта сырьевых ресурсов, полученных от животных охотничьего промысла на примере бурого медведя, оленя и кабарги как основных источников для создания биологически активных добавок из сырья животного происхождения.

Объекты и методы исследования

Для определения сырьевой базы при производстве биологически активных добавок использовались данные экспорта и импорта с 2017 по 2019 гг., проходящие через таможенную границу, а также данные научных статей об учете особей промысловых животных в разных округах Российской Федерации. В качестве объекта анализа использовались трофеи медведя, оленя и кабарги. Оценку провели при помощи графических диаграмм. В качестве сравнения численности и способов подсчета особей были использованы зарубежные источники литературы.

Результаты и их обсуждение

Численность медведей в Российской Федерации продолжает увеличиваться. В 2018 г. количество особей составило 137,5 тыс., что больше на 4 % в сравнении с 2017 г.

В таблице 1 представлена численность бурого медведя в зависимости от федерального округа РФ.

Подсчет особей может проводиться такими способами, как подсчет на «овсах», во время спячки животного, подсчет кормящихся на горных склонах медведей и авиаучеты.

Подсчет особей бурого медведя вести трудно из-за высокой численности и большой территории обитания. В различных регионах и местах обитания популяций поведение особей отличается, поэтому выбор метод подсчета происходит в зависимости от географического расположения зоны обитания зверя. Учитывая сложность сбора информации по распространению и численности медведя и невозможность применения зимнего маршрутного учета как основного метода учета, подсчет в регионах ведут комплексными методами. Одним из применяемых методов является подсчет «на овсах», но

Таблица 1. Численность бурого медведя по федеральным округам РФ, тыс. особей

Table 1. Population of brown bears by federal districts of the Russian Federation, thousand animals

Федеральный округ	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Северо-Западный	25,77	27,15	25,99	25,82	23,29
Центральный	4,27	3,87	3,38	2,90	3,48
Приволжский	15,96	15,49	15,60	15,21	14,30
Южный	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Северо-Кавказский	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
Уральский	6,78	7,27	7,16	7,60	6,96
Сибирский	33,59	33,88	34,12	34,58	38,24
Дальневосточный	45,42	44,29	45,80	43,97	49,47
Россия	133,82	133,98	134,08	132,11	137,77

этот метод не является точным, т. к. не все медведи ходят на овсяные поля. В некоторых регионах подсчет производят во время спячки животного, но данный способ является опасным для человека. В горных регионах производят визуальный подсчет кормящихся на горных склонах медведей. Также широкое распространение получили авиаучеты, благодаря которым во многих регионах удалось получить результаты численности вида. В соответствии со Стратегией развития охотничьего хозяйства в Российской Федерации до 2030 г. состояние большинства видов охотничьих животных, в том числе бурого медведя, в стране характеризуется устойчивой численностью.

Существенного изменения численности потомства не зафиксировано. В регионах с высокой численностью особей необходимо увеличить охоту. В ближайшие годы будет происходить рост численности медведей [20].

Среди трофеев бурого медведя особый интерес на рынке представляют шкура и череп этого животного. В течение трех лет (2017–2019 гг.) спрос на данный вид продукции увеличился практически в 1,3 раза (рис. 1).

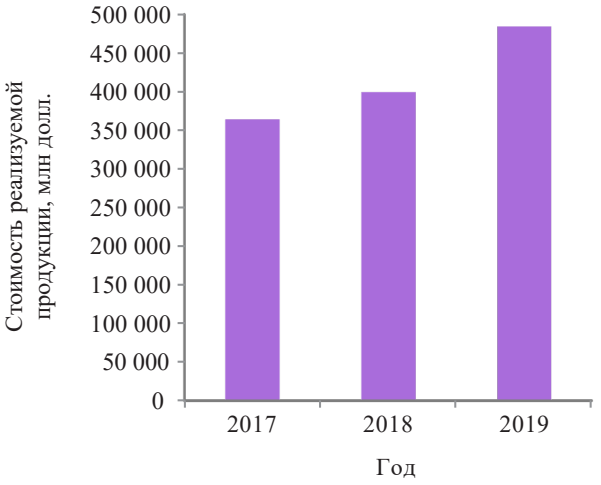


Рисунок 1. Динамика реализации сырья, полученного от бурого медведя

Figure 1. Sales dynamics of brown bear raw materials

Провели анализ использования дериватов и трофеев оленя и кабарги в разных странах в 2017–2019 гг. (рис. 2). Сравнение стран, использующих данный вид сырья, проводилось по статической стоимости сырья (млн долл.).

По данным 2017 г. импортом данного вида сырья занимались 35 стран. 80 % сырья закупается Китаем и отдельным его районом Гонконгом. Большая часть импорта из данного вида сырья приходится на трофеи оленя. Сумма закупаемого сырья составила $546 712,11. По данным 2018 г. количество стран потребителей, по сравнению с 2017 г., осталось неизменным, но появились новые страны-импортеры: Бразилия, Нидерланды, Объединенные Арабские Эмираты, Узбекистан и Чехия.

Основным импортером по данным 2018 г. является остров Тайвань, прилежащий к границам Китайской республики. Основным видом сырья, которым закупает остров, является олень, в меньшем количестве – панты оленя. Трофеи из кабарги Тайвань не закупает.

К 2019 г. количество стран, занимающихся импортом трофеев оленя и кабарги, увеличилось в 1,4 раза и составило 50. Данные виды сырья стали закупать такие страны, как Абхазия, Аргентина, Бахрейн, Греция, Грузия, Израиль, Турция, Япония и др. (рис. 3).

По данным 2019 г. Китай снизил закупку трофеев оленя и кабарги. Относительно 2017 г. доля импорта данного вида сырья Китаем снизилась в 2 раза, а в 2018 г. импорт Китая составил 75 % реализуемой продукции. Это связано с недостатком сырья, а также появлением на рынке конкурентов, таких как Россия и Республика Корея. По данным рисунков 2 и 3 видно, что увеличивается импорт трофеев оленя и кабарги, а также количество стран, занимающихся импортом данного сырья.

Спрос на продукцию растет, что говорит о целесообразности экспорта данного вида сырья.

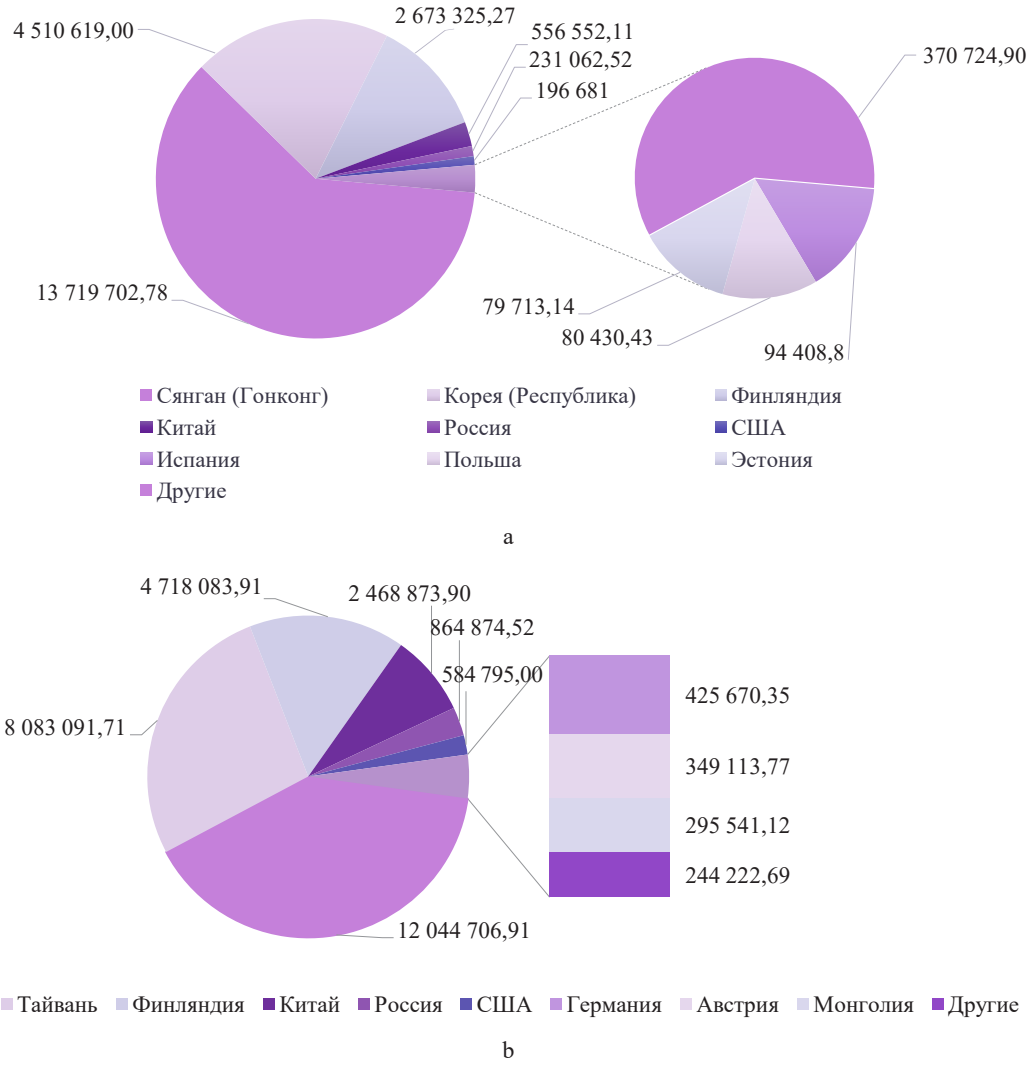


Рисунок 2. Анализ стран потребителей трофеев, полученных от оленя и кабарги, млн долл.: a – 2017 г.; b – 2018 г.

Figure 2. Importers of deer and musk deer by-products, million US dollars: a – 2017; b – 2018

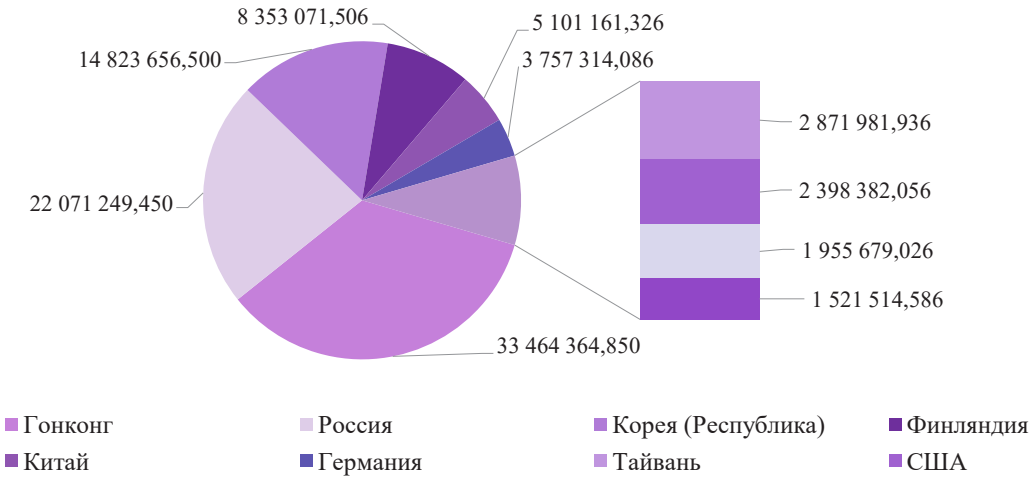


Рисунок 3. Страны импортеры трофеев оленя и кабарги по данным 2019 г., млн долл.

Figure 3. Importers of deer and musk deer by-products in 2019 data, million US dollars

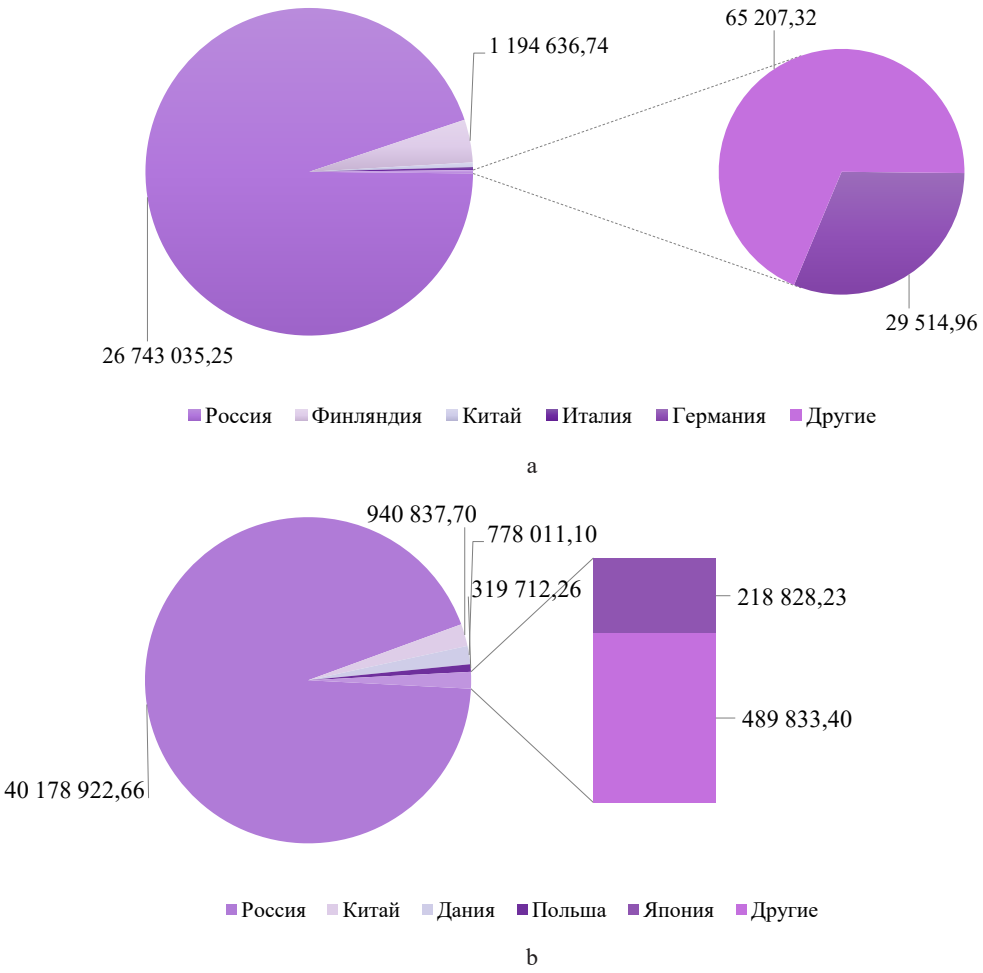


Рисунок 4. Данные по экспорту трофеев оленя и кабарги, млн долл.: a – 2017 г.; b – 2018 г.

Figure 4. Exporters of deer and musk deer by-products, million US dollars: a – 2017; b – 2018

Однако стран, занимающихся экспортом трофеев оленя и кабарги, значительно меньше. По данным 2017 г. лидером в данной отрасли является Россия, реализовавшая продукцию на $26 млн (рис. 4).

Доля поставок сырья Россией составляет около 85 %, что обусловлено большим количеством данного вида сырья на территории страны. Россия является страной, которая поставляет все виды сырья, представленного в данной работе, а также единственной страной, занимающейся поставкой трофеев кабарги.

К 2018 г. начался рост стран экспортеров (рис. 4b), но лидирующую позицию продолжает занимать Россия. На 2018 г. количество ресурсов увеличивается, о чем можно судить по стоимости реализуемой продукции. К 2018 г. стоимость экспортируемой продукции увеличилась в 1,5 раза и составила $40 млн.

По данным 2019 г. количество стран экспортеров увеличилось в 2 раза и составило 25. Доля поставок, приходящаяся на Россию, снижается, но страна остается лидером в данной сфере. Основная доля поставок России приходится на кабаргу. Данные анализа за 2019 г. представлены на рисунке 5.

В качестве объектов сравнения рассмотрели численность и способы подсчета особей в других странах на примере Греческой Республики, Исламской Республики Иран и Исламской Республики Пакистан. Оценку обеспеченности сырьем провели на основании зарубежной литературы.

Греческая Республика. Надежные оценки численности и плотности являются основой эффективного планирования, сохранения и управления популяцией, поскольку приоритеты сохранения возникают из-за ее численности. Существует ограниченная информация о численности и плотности бурого медведя (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) в Греческой Республике, несмотря на повышенный общественный интерес и дорогостоящие программы по сохранению популяции данного животного. Учеными был проведен систематический неинвазивный генетический отбор проб с использованием

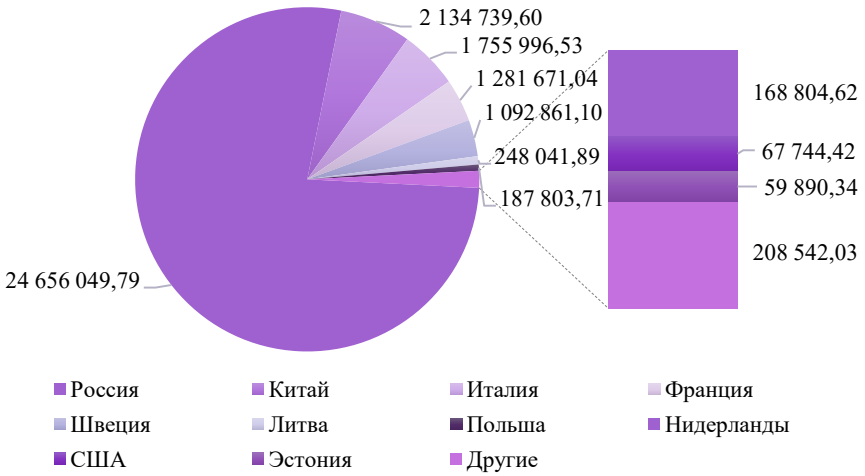


Рисунок 5. Данные экспорта трофеев оленя и кабарги за 2019 г., млн долл.

Figure 5. Exporters of deer and musk deer by-products in 2019, million US dollars

волосяных ловушек на столбах электропередач в рамках проекта исследования «поимка – поимка – повторная поимка» для оценки численности и плотности популяции американских медведей в Греческой Республике. С 2007–2010 гг. было выявлено 211 особей медведя и оценено среднее значение в 182,3 особи в четырех районах отбора проб; плотность медведей варьировалась от 10,0 до 54 медведей на 1000 км^2. Эти результаты указывают на восстановление популяции этого крупного хищника в Греции в последние годы. Консервативная оценка численности населения установила бы численность популяции по стране > 450 особей. Учитывая результаты исследования и участившиеся негативные взаимодействия между людьми и медведями, зафиксированные в данные периоды в Греческой Республике, было предложено продолжить систематический генетический мониторинг с использованием столбов электропередач, чтобы собрать необходимую информацию, которая позволит определить эффективный план действий по долгосрочному сохранению этого вида [20–26].

Исламская Республика Иран. Мы провели неинвазивное генетическое исследование с отловом и повторным отловом (SCR) медведей для оценки плотности животных на основной охраняемой территории, а затем выполнили сравнительный анализ полученной оценки численности медведей с предположениями местных рейнджеров, собранными в ходе опросов и интервью.

Модели SCR предоставляют пространственно привязанные оценки плотности и численности, связывая данные истории встреч с пространством, и предсказывают скрытую переменную, представляющую местоположение и количество центров активности особей. Сбор центров активности можно рассматривать как реализацию статистического точечного процесса, описывающего биологическую закономерность. Стандартная модель – это полунормальная модель столкновения, где вероятность столкновения зависит от расстояния между местоположением детектора и центрами активности индивидуумов. Кроме того, структура SCR может поддерживать гибкие схемы выборки (т. е. ловушки) и включать как индивидуальные, так и стационарные ковариаты. Поэтому неинвазивный генетический SCR-подход был бы идеальным для получения надежных оценок плотности и численности небольших популяций медведей. Результаты были использованы для расширения знаний о популяциях азиатских бурых медведей и оценки того, как использование непроверенных данных может повлиять на интерпретацию приоритетов по сохранению и управлению видами, находящимися под угрозой.

Объектом исследования являлся биосферный заповедник Арасбаран (ABR), который простирается примерно на 807 км^2 Кавказского экорегиона на северо-западе Ирана (от 38°40’ до 39°08’ северной широты, от 46°39’ до 47°02’ восточной долготы). В ABR преобладают горные и полузасушливые степные места обитания с высотами от 256 до 2896 м. Субальпийские луга, пастбища и сельскохозяйственные угодья чередуются с большими участками смешанных широколиственных лесов умеренного климата.

В результате исследования было собрано 109 медвежьих экскрементов вдоль 206 км исследовательских маршрутов в пределах ABR. Два образца фекалий были отброшены из-за высокой распространенности плесени. ДНК медведя из оставшихся образцов была извлечена по крайней мере один раз. Из 107 образцов фекалий 64,5 % (n = 69) были успешно

амплифицированы для фрагмента cyt *b* и использованы при микросателлитном генотипировании. Было проведено генотипирование 45 образцов (65,2 % скрининговых образцов с использованием фрагмента cyt *b* или 42,1 % от общего количества извлеченных образцов ДНК).

Используя подход SCR-моделирования, существует возможность оценки плотности и численности небольшой популяции бурых медведей на Иранском Кавказе. Использование пилотного исследования дает первую надежную оценку популяции бурого медведя в Иране, а также является одним из немногих методов, в которых применялись модели SCR для азиатских бурых медведей [27–31].

Исламская Республика Пакистан. Азиатские медведи сталкиваются с серьезными угрозами из-за воздействия человеческой деятельности, а также нехватки знаний об их статусе, распределении и потребностях для выживания.

Гималайский бурый медведь (*Ursus arctos isabellinus*) – подвид, находящийся под угрозой исчезновения, который распространен небольшими изолированными популяциями по Гималаям, Каракоруму, Гиндукушу, Памиру, западному Куньлуньшаню и Тянь-Шаню в южной Азии. Этот медведь был истреблен на большей части своего прежнего ареала распространения в Пакистане и встречается очень редко в небольших популяциях с ограниченной связью в северных горных районах. В настоящее время он встречается редко в небольших популяциях в национальном парке Деосай, где содержится в строгой изоляции. Это снижение может означать сокращение генетического разнообразия, ставя под угрозу выживание популяции. Численность медведей, когда-то обитавших в национальном парке Деосай, резко сократилась до 19 в 1993 г., что было зафиксировано при проведении Гималайского проекта дикой природы в 1994 г.

Национальный парк Деосай расположен в северном районе Пакистана в альпийской экологикой зоне, которая охватывает около 20 000 км^2, в 30 км к югу от Скарду и в 80 км к востоку от пика Нанга Парбат. Высота над уровнем моря колеблется от 3500 до 5200 м, около 60 % территории находится между 4000 и 4500 м. Зарегистрированные среднесуточные температуры варьируются от –20 до 12 °C.

Хотя популяция национально парка Деосай постепенно восстанавливается с 1993 г. из-за строгих мер по охране и сохранению, сокращение могло снизить генетическую изменчивость. Как следствие, популяция медведей может пострадать от инбридинга, а ее выживание может быть поставлено под угрозу. Небольшой размер популяции вызывает озабоченность в биологии сохранения, т. к. небольшие популяции более уязвимы к генетическим факторам, демографической и экологической случайности, генетическому дрейфу и инбридингу, а также имеют повышенную вероятность исчезновения. Эволюционные процессы, такие как мутации, миграция, отбор и случайность, отличаются от процессов в больших популяциях. В небольших популяциях роль случайности возрастает, а влияние отбора ограничено. Потеря генетического разнообразия в результате узкого места или сохранения небольших популяций была задокументирована у многих исчезающих видов, таких как северный морской слон (*Mirounga angustirostris*), маврикийская пустельга (*Falco punctatus*), индийский носорог (*Rhinoceros unicornis*) и сибирский тигр (*Panthera tigris*). Фрагментированные популяции подвержены многим скрытым угрозам, таким как ограниченное расселение и колонизация, а также ограниченный доступ к пище и товарищам.

Для оценки численности популяции использовались полевые методы, основанные на наблюдениях за узнаваемыми отдельными медведями, но эти методы не сравнивались с переписями с использованием независимых методов для оценки их согласованности.

Чтобы оценить генетический статус и численность популяции медведей национального парка Деосай и дать рекомендации по ее сохранению и управлению, исследователями был использован неинвазивный генетический метод в сочетании с полевыми данными.

Используя ДНК-анализ образцов фекалий, ученые стремились ответить на следующие вопросы:

1. Соответствует ли численность популяции, оцененная на основе полевых данных, генетическим переписям?

2. Страдала ли популяция от узкого места на генетическом уровне и как давно она начала сокращаться?

3. Подвержены ли медведи национального парка Деосай риску инбридинговой депрессии?

4. Является ли популяция генетически изолированной?

Всего было собрано 136 образцов, 63 (≈ 46 %) из которых были успешно амплифицированы по 4–7 локусам. Данные были признаны надежными из-за высокого глобального индекса качества среди успешно амплифицированных образцов. Девять образцов были отброшены для дальнейшего анализа из-за их низкого индекса качества (ниже 0,5).

Используя генетический анализ фекалий, была проведена оценка популяции. Она была оценена в 40–50 медведей, что сопоставимо с полевой переписью – 38 медведей. Популяция бурого медведя в северном Пакистане за последнюю тысячу лет сократилась примерно в 200–300 раз из-за оледенения и роста численности населения. Несмотря на наличие узкого места генетической сигнатуры, популяция медведей национального парка Деосай

имеет умеренный уровень генетического разнообразия и не подвергается непосредственному риску. Поток генов может существовать с соседними популяциями. Было рекомендовано осуществлять тщательный мониторинг этой популяции в будущем как с помощью полевых наблюдений, так и генетических анализов, включая отбор проб соседних популяций для оценки поступающего потока генов. Связь с соседними популяциями в Пакистане и Индии будет иметь первостепенное значение для долгосрочного выживания медведей национального парка Деосай [28–37].

Выводы

В данном исследовании был проведен анализ рынка экспорта и импорта сырья животного происхождения на примере трофеев оленя, кабарги и других охотничьих животных. На рынке существует большой спрос на данный вид продукции. Россия является лидирующей страной по поставкам данного сырья, что говорит о целесообразности введения новых форм продукции из сырья животного происхождения. Рынок данной продукции активно развивается.

Численность особей промысловых животных с каждым годом увеличивается, что может негативно сказаться на популяции. Количество особей необходимо сокращать, для чего нужно проводить регулирование и реализовать продукцию на рынке, т. к. имеется спрос на нее. В качестве сравнения с численностью медведя и способами ее подсчета были использованы такие страны, как Греческая Республика, Исламская Республика Иран и Исламская Республика Пакистан. По данным этих стран можно сделать вывод о том, что численность медведей на представленных территориях не высокая. Популяции увеличиваются, но незначительно. Множество видов диких животных по всей Азии находится в упадке из-за комбинированных и синергетических последствий потери среды обитания и браконьерства. Бурый медведь *Ursus arctos* встречается в Европе и Северной Америке и не подвергается глобальной угрозе. Однако большое количество популяций азиатских бурых медведей, простирающихся от Ближнего Востока до Китая, занесены в список уязвимых и находящихся под угрозой исчезновения.

Поиск литературы дал 107 статей, опубликованных в период с 1999 по 2021 гг., представляющих 102 отдельных исследования, которые соответствовали нашим критериям, связанным с мониторингом азиатских медведей. Количество работ, связанных с оценками численности азиатских медведей, росло в течение последних 2 десятилетий: < 1,0, 3,2, 6,8 и 8,8 статей в год в 2001–2005, 2006–2010, 2011–2015 и 2016–2020 гг. соответственно.

Российская Федерация лидирует по количеству особей и реализации трофеев данной области. В качестве реализации данного вида сырья и получаемой из него продукции Российская Федерация способна обеспечивать страны Азии сырьем.

Критерии авторства

Е. А. Вечтомова и И. К. Куприна руководили проектом. М. М. Орлова и Т. А. Ларичев отвечали за сбор и обработку отечественной и зарубежной литературы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интереса.

Contribution

E.A. Vechtomova and I.K. Kuprina supervised the project. M.M. Orlova and T.A. Larichev performed the review.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Dyshlyuk L, Babich O, Prosekov A, Ivanova S, Pavsky V, Chaplygina T. The effect of postharvest ultraviolet irradiation on the content of antioxidant compounds and the activity of antioxidant enzymes in tomato. Heliyon. 2020;6(1). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03288

2. Vasilevich FI, Gorbacheva MV, Sapozhnikova AI, Gordienko IM. Integrated, environmentally safe disposal (recycling) of secondary products and animal waste: innovative technical solutions. Actual problems of veterinary medicine, zootechnics and biotechnology: Collection of scientific papers of the International educational-methodical and scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of the founding of Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K.I. Skryabin; 2019; Moscow. Moscow: Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K.I. Skryabin; 2019. p. 394–396. (In Russ.). [Комплексная экологически безопасная утилизация (рециклинг) вторичной продукции и отходов животного происхождения: инновационные технические решения / Ф. И. Василевич [и др.] // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии: Сборник научных трудов Международной учебно-методической и научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня основания ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К. И. Скрябина. М., 2019. С. 394–396.]. https://www.elibrary.ru/CJSPYS

3. Gorbacheva MV, Tarasov VE, Kalmanovich SA, Sapozhnikova AI. Ostrich fat production using electrolyzed fluid. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):21–31. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-21-31

4. Gorbacheva MV, Tarasov VE, Kalmanovich SA, Sapozhnikova AI. Electrochemical activation as a fat rendering technology. Foods and Raw Materials. 2021;9(1):32–42. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-32-42

5. Kurzova AA, Knyazeva AS, Vostrikova NL. New standards for test methods of meat products. Vsyo o Myase. 2018;(3):28–31. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-3-28-31

6. Slobodchikova MN, Vasilyeva VT, Ivanov RV, Lebedeva UM. New aspects of non-waste use of secondary raw materials of horse breeding in Yakutia. Problems of Nutrition. 2018;87(4):87–92. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10046

7. Masaitis VV, Nikolaeva MA. The Anatoly Silantiev Memorial Readings, dedicated to the 150-th anniversary of the birth: Game management in Russia. History and modernity. Proceedings of All-Russian Conference; 2018; St. Petersburg. St. Petersburg: Saint Petersburg State Forest Technical University; 2018. 128 p. (In Russ.). https://doi.org/10.21266/SPBFTU.2018.SIL.1

8. Zhdankin GV, Samodelkin AG, Novikova GV, Belova MV, Gorbunov BI. Microwave technology for extracting fat from fat-containing raw materials. Russia patent RU 2636155C1. 2017. [Микроволновая технология извлечения жира из жиросодержащего сырья: пат. 2636155C1 Рос. Федерация. № 2016150318 / Жданкин Г. В. [и др.]; заявл. 20.12.2016; опубл. 21.11.2017; Бюл. № 33. 11 с.].

9. Ivankin AN. Processing of animal materials in food and technical products. Vsyo o Myase. 2013;(3):28–30. (In Russ.). [Иванкин А. Н. Переработка животного сырья в пищевые и технические продукты // Все о мясе. 2013. № 3. С. 28–30.]. https://www.elibrary.ru/QCRSKV

10. Cunha AF, Caetano NS, Ramalho E, Crispim A. Fat extraction from fleshings – optimization of operating conditions. Energy Reports. 2020;6:381–390. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.176

11. Prosekov AYu, Babich OO, Sukhikh SA. Modern methods of research of raw materials and biotechnological products. Kemerovo: Kemerovo Institute of Food Science and Technology; 2013. 181 p. (In Russ.). [Просеков А. Ю., Бабич О. О., Сухих С. А. Современные методы исследования сырья и биотехнологической продукции. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2013. 181 с.]. https://www.elibrary.ru/ZRRODD

12. Podlegaeva TV, Prosekov AYu. Methods for studying the properties of raw materials and food products. Kemerovo: Kemerovo Institute of Food Science and Technology; 2004. 101 p. (In Russ.). [Подлегаева Т. В., Просеков А. Ю. Методы исследования свойств сырья и продуктов питания. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2004. 101 с.]. https://www.elibrary.ru/XDENQI

13. Farmani J, Rostammiri L. Characterization of chicken waste fat for application in food technology. Journal of Food Measurement and Characterization. 2015;9(2):143–150. https://doi.org/10.1007/s11694-014-9219-y

14. Jenkins B, Ronis M, Koulman A. LC–MS lipidomics: Exploiting a simple high-throughput method for the comprehensive extraction of lipids in a ruminant fat dose-response study. Metabolites. 2020;10(7). https://doi.org/10.3390/metabo10070296

15. Li C-Y, Wang B-W, Qin P-F, Ge W-H, Zhang M-A, Yue B, *et al.* Enzymatic centrifugation extraction of goose fat liver oil and its quality evaluation. Food Research and Development. 2018;39(10):72–81.

16. O'Keefe SF, Pike OA. Fat characterization. In: Nielsen SS, editor. Food analysis. Boston: Springer; 2010. pp. 239–260. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1478-1_14

17. Orellana JL, Smith TD, Kitchens CL. Liquid and supercritical CO_2 extraction of fat from rendered materials. The Journal of Supercritical Fluids. 2013;79:55–61. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.01.022

18. Sander A, Antonije Košćak M, Kosir D, Milosavljević N, Parlov Vuković J, Magić L. The influence of animal fat type and purification conditions on biodiesel quality. Renewable Energy. 2018;118:752–760. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.068

19. Smelansky IE, Nikolenko EG. Market analysis of wild animals and their derivatives in the Altai-Sayan Ecoregion, 2005–2008. Moscow: World Wildlife Fund; 2010. 151 p. (In Russ.). [Смелянский И. Э., Николенко Э. Г. Анализ рынка диких животных и их дериватов в Алтае-Саянском экорегионе – 2005–2008 гг. М.: Всемирный фонд дикой природы, 2010. 151 с.].

20. Abbas F, Bhatti ZI, Haider J, Mian A. Bears in Pakistan: Distribution, population biology and human conflicts Journal of Bioresource Management. 2015;2(2):1–13. https://doi.org/10.35691/JBM.5102.0015

21. Allen ML, Norton AS, Stauffer G, Roberts NM, Luo Y, Li Q, *et al.* A Bayesian state-space model using age-at-harvest data for estimating the population of black bears (*Ursus americanus*) in Wisconsin. Scientific Reports. 2018;8. https://doi.org/10.1038/s41598-018-30988-4

22. Brodie JF, Williams S, Garner B. The decline of mammal functional and evolutionary diversity worldwide. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2021;118(3). https://doi.org/10.1073/pnas.1921849118

23. Buxton RT, Nyboer EA, Pigeon KE, Raby GD, Rytwinski T, Gallagher AJ, *et al.* Avoiding wasted research resources in conservation science. Conservation Science and Practice. 2021;3(2). https://doi.org/10.1111/csp2.329

24. Garshelis DL. Understanding species–habitat associations: A case study with the world's bears. Land. 2022;11(2). https://doi.org/10.3390/land11020180

25. Garshelis DL, Steinmetz R. *Ursus thibetanus*, Asiatic black bear (amended version of 2016 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species. 2020. https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22824A166528664.en

26. Guharajan R, Mohamed A, Wong ST, Niedballa J, Petrus A, Jubili J, *et al.* Sustainable forest management is vital for the persistence of sun bear *Helarctos malayanus* populations in Sabah, Malaysian Borneo. Forest Ecology and Management. 2021;493. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119270

27. Humm J, Clark JD. Estimates of abundance and harvest rates of female black bears across a large spatial extent. The Journal of Wildlife Management. 2021;85(7):1321–1331. https://doi.org/10.1002/jwmg.22104

28. Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 14. IUCN Standards and Petitions Committee; 2019.

29. Kang D, Li J. Role of nature reserves in giant panda protection. Environmental Science and Pollution Research. 2018;25:4474–4478. https://doi.org/10.1007/s11356-017-0831-3

30. McShea WJ, Hwang M-H, Liu F, Li S, Lamb C, McLellan B, *et al.* Is the delineation of range maps useful for monitoring Asian bears? Global Ecology and Conservation. 2022;35. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02068

31. Morin DJ, Boulanger J, Bischof R, Lee DC, Ngoprasert D, Fuller AK, *et al.* Comparison of methods for estimating density and population trends for low-density Asian bears. Global Ecology and Conservation. 2022;35. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02058

32. Moussy C, Burfield IJ, Stephenson PJ, Newton AFE, Butchart SHM, Sutherland WJ, *et al.* A quantitative global review of species population monitoring. Conservation Biology. 2021;36(1). https://doi.org/10.1111/cobi.13721

33. Mynbayeva B, Voronova N, Tanybayeva A, Musdybayeva K, Yerubayeva G, Amirasheva B. New records of the Tian Shan (or Himalayan) brown bear *Ursus arctos isabellinus* Horsfield, 1826 (Carnivora: Ursidae) in Zailiyskiy Alatau Mts., Kazakhstan. Acta Zoologica Bulgarica. 2018;70(2):185–188.

34. Nuttall MN, Griffin O, Fewster RM, McGowan PJK, Abernethy K, O'Kelly H, *et al.* Long-term monitoring of wildlife populations for protected area management in Southeast Asia. Conservation Science and Practice. 2022;4(2). https://doi.org/10.1111/csp2.614

35. Penteriani V, Te WS, May CL, Wah SY, Crudge B, Broadis N, *et al.* Characteristics of sun bear chest marks and their patterns of individual variation. Ursus. 2020;(31e19):1–8. https://doi.org/10.2192/URSUS-D-19-00027.1

36. Proctor MF, Garshelis DL, Thatte P, Steinmetz R, Crudge B, McLellan BN, *et al.* Review of field methods for monitoring Asian bears. Global Ecology and Conservation. 2022;35. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02080

37. Randin CF, Ashcroft MB, Bolliger J, Cavender-Bares J, Coops NC, Dullinger S, *et al.* Monitoring biodiversity in the Anthropocene using remote sensing in species distribution models. Remote Sensing of Environment. 2020;239. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111626

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)
https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2
https://fptt.ru/

СОДЕРЖАНИЕ

Кочкарев П. В., Кошурникова М. А., Сергеев А. А., Ширяев В. В. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях зайца-беляка (*Lepus timidus* L., 1758) на севере Красноярского края... 217

Гниломедова Н. В., Аникина Н. С., Колеснов А. Ю. Методические подходы к определению географического происхождения вин. Обзор 231

Конева С. И., Захарова А. С., Мелёшкина Л. Е., Егорова Е. Ю., Машкова И. А. Технологические свойства теста из смеси ржаной и пшеничной муки с продуктами переработки облепихи 247

Сергеев А. И., Калинина И. Г., Шилкина Н. Г., Барашкова И. И., Градова М. А., Мотякин М. В., Иванов В. Б. Изменение физико-химических и органолептических характеристик яблочного пюре при повышенных температурах хранения 259

Багаев А. А., Бобровский С. О. Энергетическая и эксергетическая оценка электротехнологических средств термической обработки молока 273

Чемисова Л. Э., Агеева Н. М., Якименко Е. Н. Качество и безопасность продукции в процессе хранения в системе «вино – упаковка, укупорка» 281

Шемчук М. А., Комарчева О. С., Шадрин В. Г. Барьеры маркетинговых коммуникаций и пути их преодоления 294

Хасанов Ж. Х., Мирахмедов Ш. Д., Султонова Э. М., Салихов Ш. И. Влияние содержания влаги на качество и количество льняного масла шнекового отжима 310

Зенькова М. Л., Мельникова Л. А., Тимофеева В. Н. Безалкогольные напитки из пророщенной гречихи: технологические аспекты и пищевая ценность 316

Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В., Свиридов Д. А., Томгорова С. М. Методология оптимизации режимов дистилляции на основе критериев оценки качества продукта 326

Куликова Н. Е., Чернобровина А. Г., Роева Н. Н., Попова О. Ю. Исследование процесса выпаривания для получения концентратов из растительного сырья 335

Маслов А. В., Мингалева З. Ш., Ямашев Т. А., Старовойтова О. В. Влияние комплексной добавки на хлебопекарные свойства муки и теста при брожении 348

Нициевская К. Н., Станкевич С. В., Бородай Е. В. Влияние ультразвукового воздействия на свойства йота-каррагинана и гуаровой камеди 357

Соснин М. Д., Шорсткий И. А. Сушка яблочных чипсов с применением интеллектуальной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой 368

Бородулин Д. М., Шафрай А. В., Максименко А. А. Применение нейронной сети для управления системой домашней гидропоники 384

Гиро Т. М., Куликовский А. В., Гиро А. В. Влияние эссенциальных микроэлементов на протеомный профиль белковой части мышечной ткани баранины 396

Лутков И. П., Ермолин Д. В. Сравнение типичных свойств напитков с различным содержанием этанола 404

Вечтомова Е. А., Куприна И. К., Орлова М. М., Ларичев Т. А. Перспективы использования дериватов промысловых животных 415

CONTENTS

Kochkarev Pavel V., Koshurnikova Maria A., Sergeyev Alexey A., Shiryaev Valery V. Trace Elements in the Meat and Internal Organs of the Mountain Hare (*Lepus timidus* L., 1758) in the North of the Krasnoyarsk Region 218

Gnilomedova Nonna V., Anikina Nadezhda S., Kolesnov Alexander Yu. A Review of Methodological Approaches to Authenticating the Geographical Origin of Wines 232

Koneva Svetlana I., Zakharova Alexandra S., Meleshkina Larisa E., Egorova Elena Yu., Mashkova Iryna A. Technological Properties of Dough from a Mix of Rye and Wheat Flour with Processed Sea Buckthorn 248

Sergeev Andrey I., Kalinina Irina G., Shilkina Natalia G., Barashkova Irina I., Gradova Margaret A., Motyakin Mikhail V., Ivanov Victor B. Effect of Elevated Storage Temperatures on the Physicochemical and Sensory Properties of Apple Puree 260

Bagaev Andrei A., Bobrovskiy Sergey O. Electrotechnological Heat Treatment of Milk: Energy and Exergy Efficiency 272

Chemisova Larisa E., Ageyeva Natalia M., Yakimenko Elena N. Quality and Safety of Wine during Storage: Packaging and Stopper 282

Shemchuk Maria A., Komarcheva Oxsana S., Shadrin Vladislav G. Marketing Communication Barriers and How to Overcome Them 295

Hasanov Jahongir H., Mirzaxmedov Sherzod D., Sultonova Elvira M., Salikhov Shavkat I. Effect of Moisture Content on the Quality and Quantity of Screw-Pressed Flax Seed Oil 309

Zenkova Mariya L., Melnikova Ludmila A., Timofeeva Valentina N. Non-Alcoholic Beverages from Sprouted Buckwheat: Technology and Nutritional Value 317

Krikunova Ludmila N., Dubinina Elena V., Sviridov Dmitry A., Tomgorova Svetlana M. Assessment-Based Optimization of Distillation Parameters 327

Kulikova Nataliya E., Chernobrovina Antonina G., Roeva Natalia N., Popova Olga Yu. Evaporation as a Method for Obtaining Plant Concentrates 336

Maslov Alexander V., Mingaleeva Zamira Sh., Yamashev Timur A., Starovoitova Oksana V. Effects of a Plant-Based Additive on the Properties of Flour and Dough during Fermentation 347

Nitsievskaya Kseniya N., Stankevich Svetlana V., Boroday Elena V. Ultrasound Treatment of Iota-Carrageenan and Guar Gum 358

Sosnin Maxim D., Shorstkii Ivan A. Cold Atmospheric Gas Plasma Processing of Apple Slices 369

Borodulin Dmitry M., Shafrai Anton V., Maximenko Alexander A. Neural Network and Home Hydroponics 385

Giro Tatiana M., Kulikovsky Andrey V., Giro Anna V. Effect of Essential Microelements on Proteomic Profile of Lamb Muscle Tissue Protein 397

Lutkov Igor P., Yermolin Dmitry V. Typical Properties of Beverages with Different Ethanol Content: A Comparative Analysis 405

Vechtomova Elena A., Kuprina Irina K., Orlova Maria M., Larichev Timothy A. Prospects for Derivatives of Game Animals..... 416