



FOOD METAENGINEERING

Пищевая Метаинженерия

Volume 2 | Issue 3 | 2024



■ FOOD METAENGINEERING

Научный рецензируемый журнал
№ 3 | 2024
Периодичность издания — 4 номера в год
Основан в 2023 г.

■ Учредитель:

Федеральное государственное автономное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (ФГАНУ «ВНИМИ»)

■ Главный редактор

Галстян Арам Генрихович — доктор технических наук, академик РАН, профессор РАН, директор Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (Москва, Россия) (ORCID)

■ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Заведующий редакцией журнала, академический редактор

Тихонова Елена Викторовна — кандидат исторических наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (Москва, Россия) (ORCID)

Ответственный секретарь

Рябова Анастасия Евгеньевна — доктор технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (Москва, Россия) (ORCID)

Туровская Светлана Николаевна — Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности. Технический секретарь. (ORCID 0000-0002-5875-9875)

Редактор по этике

Косычева Марина Александровна — доцент, кандидат филологических наук, доцент Российского биотехнологического университета (Москва, Россия) (ORCID)

- Рецензируемый научный журнал FOOD METAENGINEERING («ПИЩЕВАЯ МЕТАИНЖЕНЕРИЯ») зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 13 марта 2023 года (Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-84878 — сетевое издание).

■ Адрес:

115093, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7, к. 406
Тел. +7 (499) 236-32-23
E-mail: fme@vnimi.org
Официальный сайт учредителя: vnimi.org
Официальный сайт редакции: fme-journal.org

© ФГАНУ «ВНИМИ», 2024

■ FOOD METAENGINEERING

Scientific peer-reviewed journal
No 3 | 2024
Periodicity of publication — Quarterly
Published since 2023

■ Founder:

All-Russian Dairy Research Institute (VNIMI), Moscow, Russian Federation

■ Editor-in-Chief

Aram G. Galstyan — Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, Professor, Director of the All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russian Federation

■ EDITORIAL OFFICE

Head of the Editorial Team, Academic Editor

Elena V. Tikhonova — Cand. Sci. (History), Assistant professor, All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russian Federation

Executive Secretary

Anastasiia Riabova — Doctor of Engineering, All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russian Federation

Svetlana N. Turovskaya — All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russian Federation. Technical Secretary

Ethics Editor

Marina A. Kosycheva — Cand. Sci. (Philology), Assistant professor, Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russian Federation

- The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Media. The Mass Media Registration Certificate EL No FS77-84878 dated March 13, 2023.

■ Address:

406 room, 35/7, Lyusinovskaya st., Moscow, Russian Federation, 115093
Tel. +7 (499) 236-32-23
E-mail: fme@vnimi.org
Official web site of Founder: vnimi.org
Official web site of the Editorial Office: fme-journal.org

© VNIMI, 2024

- **Бабич Ольга Олеговна** —
доцент, доктор технических наук, директор Научно-образовательного центра «Промышленные биотехнологии» Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта», г. Калининград, Российская Федерация
- **Багиров Вугар Алинияз оглы** —
член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация
- **Будрик Владислав Глебович** —
кандидат технических наук, директор Всероссийского научно-исследовательского института птицеперерабатывающей промышленности — филиала Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства РАН, г. Ржавки, Российская Федерация
- **Донник Ирина Михайловна** —
академик РАН, профессор, доктор биологических наук, помощник президента НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Российская Федерация
- **Евдокимов Иван Алексеевич** —
член-корреспондент РАН, профессор, доктор технических наук, заведующий базовой кафедрой технологии молока и молочных продуктов Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь, Российская Федерация
- **Линденбек Марио** —
доктор сельскохозяйственных наук, Business consulting Lindenbeck, г. Берлин, Германия
- **Лобачевский Яков Петрович** —
академик РАН, профессор, доктор технических наук, директор Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, г. Москва, Российская Федерация
- **Мартиросян Владимир Викторович** —
профессор РАН, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе Научно-исследовательского института хлебопекарной промышленности, г. Москва, Российская Федерация
- **Мельникова Елена Ивановна** — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения Воронежского государственного университета инженерных технологий г. Воронеж, Российская Федерация
- **Петров Андрей Николаевич** —
академик РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности, г. Москва, Российская Федерация
- **Просеков Александр Юрьевич** —
член-корреспондент РАН, профессор РАН, профессор, доктор технических наук, доктор биологических наук, ректор Кемеровского государственного университета, г. Москва, Российская Федерация
- **Семипятный Владислав Константинович** — доктор технических наук, старший научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности, г. Москва, Российская Федерация
- **Серба Елена Михайловна** —
член-корреспондент РАН, профессор РАН, доцент, доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе Всероссийского научно-исследовательского института пищевой биотехнологии филиала Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, г. Москва, Российская Федерация
- **Сложенкина Марина Ивановна** —
член-корреспондент РАН, профессор РАН, профессор, доктор биологических наук, директор Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции, г. Волгоград, Российская Федерация
- **Федотова Ольга Борисовна** —
старший научный сотрудник, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник/ученый секретарь Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности, г. Москва, Российская Федерация
- **Чернуха Ирина Михайловна** —
академик РАН, профессор, доктор технических наук, руководитель отдела координации международных и инициативных проектов Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, г. Москва, Российская Федерация

■ **Olga O. Babich** —

Associate Professor, Doctor of Engineering, Director of the Scientific and Educational Center «Industrial Biotechnologies», Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

■ **Vugar A. Bagirov** —

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Director of the Department for Coordinating the Activities of Organizations in the Field of Agricultural Sciences, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

■ **Vladislav G. Budrik** —

Cand. Sci. (Engineering), Director of the All-Russian Research Institute of the Poultry Processing Industry, All-Russian Research and Technological Institute of Poultry Farming of the Russian Academy of Sciences, Rzhavki, Russian Federation

■ **Irina M. Donnik** —

Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Biological Sciences, presidential aide, National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russian Federation

■ **Ivan A. Evdokimov** —

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Engineering, Head of the Basic Department of Technology of Milk and Dairy Products, North Caucasian Federal University, Stavropol, Russian Federation

■ **Mario Lindenbeck** —

Doctor of Agricultural Sciences, Business Consulting Lindenbeck, Berlin, Germany

■ **Yakov P. Lobachevsky** —

Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Engineering, First Deputy Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

■ **Vladimir V. Martirosyan** —

Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, Deputy Director for Research, Scientific Research Institute of the Baking Industry (Moscow, Russia) (ORCID)

■ **Elena I. Melnikova** —

Professor, Doctor of Engineering, Professor of the Department of Technology of Animal Origin Products, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation

■ **Andrey N. Petrov** —

Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, Chief Researcher, All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russian Federation

■ **Alexander Yu. Prosekov** —

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Engineering, Doctor of Biological Sciences, Rector of Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

■ **Vladislav K. Semipyatny** —

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russian Federation

■ **Elena M. Serba** —

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Associate Professor, Doctor of Biological Sciences, Deputy Director for Research, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation

■ **Marina I. Slozhenkina** —

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Biological Sciences, Director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Volgograd, Russia) (ORCID)

■ **Olga B. Fedotova** —

Senior Researcher, Doctor of Engineering, Leading Researcher / Scientific Secretary of the All-Russian Dairy Research Institut, Moscow, Russian Federation

■ **Irina M. Chernukha** —

Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Engineering, Head of the Department for Coordinating International and Initiative Projects, Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato, Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation

РЕДАКТОРСКАЯ СТАТЬЯ

А. Е. Рябова

Оформления библиографических ссылок в стиле APA: Рекомендации и распространенные ошибки 7

ОРИГИНАЛЬНОЕ ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

А. В. Хан, Д. Д. Коваль, Е. Г. Лазарева, О. Ю. Фоменко

Сравнительный анализ симплексной и дуплексной ПЦР для выявления фальсификации козьего молока и продуктов его термической обработки.....12

Е. И. Большакова, И. А. Барковская, А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, Е. С. Орлова

Влияние условий хранения на цветовой профиль цельного сгущенного молока с сахаром25

Б. В. Маневич, Е. Н. Титов, Е. А. Бурыкина

Влияние условий хранения на физико-химические свойства электрохимически активированных растворов41

И. Г. Белявская, Р. Х. Кандроков

Разработка композитной цельносмолотой пшенично-конопляной муки для производства хлебобулочных изделий.....54

EDITORIAL

A. E. Ryabova

APA reference style guidelines: Recommendations and common errors 8

ORIGINAL EMPIRICAL RESEARCH

A.V. Khan, D.D. Koval, E.G. Lazareva, O. Yu. Fomenko

Comparative analysis of simplex and duplex PCR for detection of adulteration of goat milk and its heat-treated products13

**E. I. Bolshakova, A. G. Kruchinin, S. N. Turovskaya, E. E. Illarionova,
I. A. Barkovskaya, E. S. Orlova**

The influence of storage conditions on the color profile of sweetened condensed whole milk26

B.V. Manevich, E.N. Titov, E.A. Burykina

The impact of storage conditions on the physicochemical properties of electrochemically activated solutions42

I. G. Belyavskaya, R. Kh. Kandrov

Development of composite whole-ground wheat-hemp flour for the production of bakery products55

Оформление библиографических ссылок в стиле АРА: Рекомендации и распространенные ошибки

А. Е. Рябова

Всероссийский
научно-исследовательский
институт молочной
промышленности, г. Москва,
Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Правильное оформление библиографических ссылок в стиле АРА играет ключевую роль в академических публикациях, обеспечивая соблюдение стандартов научной этики, упрощая поиск источников и повышая прозрачность исследования для читателей. Данная редакционная статья рассматривает основные принципы оформления библиографических записей, а также анализирует наиболее частые ошибки, допускаемые авторами. Особое внимание уделено оформлению патентов, справочников, стандартов (ГОСТов), отчетов и книг с переизданием. Статья предлагает примеры корректного оформления каждого типа источников и акцентирует внимание на том, как избежать недоразумений, которые могут усложнить процесс рецензирования и подорвать доверие к исследованию.

Ключевые слова: АРА стиль; библиографические ссылки; оформление источников; научная публикация; патенты; стандарты ГОСТ; отчеты; справочники; научная этика; рецензирование

Корреспонденция:

Анастасия Евгеньевна Рябова

E-mail: a_ryabova@vniimi.org

Конфликт интересов:

автор сообщает
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 01.08.2024

Принята: 15.08.2024

Опубликована: 30.09.2024

Copyright: © 2024 Автор



Для цитирования: Рябова, А. (2024). Оформление библиографических ссылок в стиле АРА: Рекомендации и распространенные ошибки. FOOD METAENGINEERING, 2(3), 7-11. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.69>

<https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.69>

APA Reference Style Guidelines: Recommendations and Common Errors

A. E. Ryabova

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Proper formatting of bibliographic references in APA style plays a key role in academic publications by ensuring adherence to standards of scholarly ethics, simplifying the search for sources, and enhancing transparency for readers. This editorial article reviews the main principles of reference formatting and analyzes the most common mistakes made by authors. Special attention is given to the formatting of patents, reference books, standards (GOSTs), reports, and reprinted books. The article provides examples of correct formatting for each type of source and highlights how to avoid misunderstandings that can complicate the peer review process and undermine trust in the research.

Keywords: APA style, bibliographic references, source formatting, academic publication, patents, GOST standards, reports, reference books, reprint, scholarly ethics, peer review

Correspondence:

Anastasia E. Ryabova

E-mail: a_ryabova@vnimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 01.08.2024

Accepted: 15.08.2024

Published: 30.09.2024

Copyright: © 2024 The Author



To cite: Ryabova, A. (2024). APA reference style guidelines: Recommendations and common errors. *FOOD METAENGINEERING*, 2(3), 7-11.
<https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.69>

Корректное оформление библиографических ссылок является важным аспектом академической публикации по нескольким причинам. Во-первых, оно способствует соблюдению стандартов научной этики, так как точное указание источников подтверждает использование чужих идей и результатов исследований. Это помогает избежать плагиата и уважительно относиться к труду других авторов. Во-вторых, корректное оформление облегчает поиск источников для читателей, которые могут заинтересоваться конкретными работами и захотят изучить их детально. Если ссылки оформлены правильно, читатель без труда найдет публикации, даже если ранее с ними не сталкивался. Это особенно важно в научных исследованиях, где актуальность и доступность литературы напрямую влияют на качество дальнейших исследований. В-третьих, правильное оформление улучшает ясность и читабельность работы, поскольку соблюдение стандартов делает библиографию структурированной и понятной.

Ошибки в оформлении списка литературы могут привести к ряду недоразумений. Во-первых, неверно указанные данные могут затруднить или сделать невозможным нахождение источника. Например, если в списке литературы ошибочно указан DOI, ссылка может вести на несуществующую или неверную страницу, что затруднит проверку информации или её использование. Во-вторых, неполные или неправильные ссылки могут создавать впечатление недобросовестной работы автора, что может снизить доверие к его исследованию. Это особенно важно на этапе рецензирования, когда рецензенты проверяют соответствие ссылок заявленной информации и могут столкнуться с трудностями при попытке найти нужные статьи или книги.

Ошибки в оформлении списка использованных источников усложняют процесс рецензирования, так как рецензенты тратят больше времени на проверку корректности ссылок и поиск источников. В результате это может замедлить рассмотрение статьи или даже привести к отказу в публикации, если ошибки систематичны или создают впечатление непрофессионализма. Для авторов это означает необходимость повторных правок и задержек в публикации их работы.

В журнале FOODMETAENGINEERING список литературы и отсылка к источникам в тексте оформляются согласно конвенциям APA стиля (American Psychological Association). Основной принцип оформления ссылок заключается в том, что все источники перечисляются

в алфавитном порядке по фамилиям авторов. Если авторов несколько, их фамилии указываются в порядке, в котором они приведены в источнике. Следует писать инициалы имен авторов, а не полные имена. Между инициалами автора устанавливается пробел. Например: «Brown, T. L. (2018)». Для научных статей важно указывать цифровой идентификатор объекта (DOI). Он предоставляется в формате: <https://doi.org/> и является постоянной ссылкой на источник.

Ссылки на статью в журнале должны выглядеть так:

Robinson, L., & Smith, D. (2019). Climate change impact on agriculture. *Journal of Environmental Research*, 45(3), 12–25. <https://doi.org/10.1234/journal.v45i3.5678>

Johnson, T. R., Smith, P. K., & Williams, L. A. (2020). The impact of climate change on urban biodiversity. *Environmental Science Review*, 34(2), 101–115. <https://doi.org/10.1234/esr.v34i2.7890>

Название статьи пишется с использованием строчных букв (исключая первое слово и собственные имена), а название журнала выделяется курсивом и пишется с заглавной буквы для каждого слова, кроме предлогов и союзов. Обратите внимание, что при перечислении авторов перед фамилией последнего автора указывается амперсанд (&). Номер тома указывается курсивом, а номер выпуска — курсивом НЕ маркируется.

Пример оформления книги:

Smith, J. (2020). *Environmental science and sustainability*. Academic Press.

Название книги выделяется курсивом и пишется с заглавной буквы только для первого слова и собственных имен. Место издания не указывается, а издательство указывается в обязательном порядке. Место издания больше не указывается в стиле APA, поскольку с развитием цифровых технологий и глобального распространения научных публикаций эта информация утратила свою значимость. В прошлом место издания помогало читателям идентифицировать конкретное издательство или находить книгу в местных библиотеках, особенно если у одного издательства было несколько офисов в разных городах. Однако в современных условиях, когда книги и статьи широко доступны в интернете и через цифровые базы данных, место издания больше не играет такой важной роли.

Тем не менее, издательство продолжает указываться, поскольку оно остаётся важным идентификатором кни-

ги или монографии. Указание издательства помогает читателям и исследователям идентифицировать качество и источник издания, а также обеспечивает авторитетность и достоверность работы. Издательство играет важную роль в академическом контексте, так как некоторые издательства известны высоким уровнем научных публикаций, что повышает доверие к изданию.

Если автор ссылается не на первое издание книги, имеющей переиздания, это необходимо указать. Например,

Иванов, Ф. М. (2015). *Основы научной методологии* (3-е изд.). Эксмо.

Если книга опубликована под редакцией двух редакторов, это оформляется следующим образом: «Johnson, A., & Lee, B. (Eds.). (2017). *Modern environmental issues*. Green Publishing». Здесь (Eds.) обозначает, что это редакторы книги, а не авторы.

Когда требуется сослаться на главу в коллективной монографии, важно указать не только автора главы, но и редакторов книги. В данном случае указывается номер страниц, на которых размещена глава.

Например: Martin, R. (2015). Environmental policies and their impact. In A. Johnson & B. Lee (Eds.), *Modern environmental issues* (pp. 45–67). Green Publishing.

Если вы ссылаетесь на статью в сборнике конференций, пример может выглядеть так:

Chen, Y. (2016). Advances in renewable energy technologies. In *Proceedings of the International Conference on Renewable Energy* (pp. 102–110). Energy Institute.

Название сборника конференции и само слово «Proceedings» также выделяются курсивом. Издатель сборника трудов конференции указывается в обязательном порядке.

Для электронных ресурсов важно указывать точный URL или DOI. Если это веб-страница без DOI, оформляется так:

National Institute of Environmental Health Sciences. (2021, March 15). Climate and human health. <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/climate-change/index.cfm>. Также важно указывать дату обращения, если это не постоянная ссылка (например, для сайтов без DOI).

Отчеты в стиле APA оформляются аналогично книгам, но с указанием организации, выпустившей отчет, его

номера (если он есть) и места публикации. Если отчет опубликован в электронном виде, добавляется URL.

Пример:

Организация. (Год). *Название отчета* (Номер отчета, если есть). Издательство или URL.

Всемирная организация здравоохранения. (2020). *Глобальный отчет о состоянии здравоохранения 2020*. ВОЗ.

American Psychological Association. (2019). *Stress in America 2019: The impact of discrimination* (Report No. APA-2020). American Psychological Association.

United Nations Development Programme. (2021). *Human development report 2021: Inequalities in human development in the 21st century*. <https://hdr.undp.org/en/2021-report>

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. (2021). *Доклад о состоянии окружающей среды в Российской Федерации в 2021 году*. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

При цитировании патентов в стиле APA указываются имена изобретателей (если их несколько, они разделяются запятыми с использованием аперсанда), год выдачи патента, номер патента и страна выдачи. Название патента пишется курсивом.

Пример:

Автор(ы). (Год). *Название патента* (Номер патента). Страна.

Smith, J., & Brown, T. (2018). *Solar-powered energy storage system* (U.S. Patent No. 10,123,456). United States Patent and Trademark Office.

Иванов, И. И., & Петров, А. Б. (2018). *Способ переработки полимерных отходов* (Патент РФ № 2654321). Российская Федерация.

В текстовых ссылках используются Фамилия автора патента и дата его регистрации. Например: (Иванов & Петров, 2018).

Справочники и энциклопедии оформляются как книги, но с указанием редакторов, если они имеются, и иногда с обозначением томов и страниц. Если это стандартный справочник, то указывается его название, редакторы (если есть), том и страницы (если применимо).

А. Е. Рябова

Пример:

Автор(ы)/Редактор(ы). (Год). *Название справочника* (Том, страницы). Издательство.

Merriam-Webster. (2004). *Merriam-Webster's collegiate dictionary* (11-е изд.). Merriam-Webster, Inc.

Если справочник размещен на онлайн-ресурсе, добавляется URL:

Merriam-Webster. (n.d.). *Merriam-Webster's collegiate dictionary* (11-е изд.). Merriam-Webster, Inc. <https://www.merriam-webster.com/dictionary>

Отсылка к справочникам, методической литературе в тексте не реализуется. Такие отсылки оформляются как постраничные сноски, а сами источники в список литературы не вносятся.

ГОСТы и другие стандарты оформляются как официальные документы с указанием организации, утвердившей стандарт, его номера и названия, а также даты публикации.

Пример:

Организация. (Год). *Название стандарта* (Номер стандарта). Издательство.

Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2015). *Межгосударственный стандарт. Изделия из дерева. Технические условия* (ГОСТ 8486–86). Стандартиформ.

Если стандарт был доступен в интернете, добавляется URL:

Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2015). *Межгосударственный стандарт. Изделия из дерева. Технические условия* (ГОСТ 8486–86). Стандартиформ. <https://www.gost.ru>

Бывают случаи, когда автором источника может выступать не человек, а организация или учреждение, что особенно часто встречается при цитировании отчетов, патентов, стандартов (ГОСТов) и справочников. В таких случаях название организации указывается в позиции автора.

Пример:

International Business Machines Corporation. (2020). *Data processing system* (U.S. Patent No. 10,567,890). United States Patent and Trademark Office.

Международная организация по стандартизации. (2017). *Информационные технологии — Процессы жизненного цикла программного обеспечения* (ISO/IEC 12207:2017). Стандартиформ.

Всемирная организация здравоохранения. (2019). *Доклад о состоянии здравоохранения в мире 2019*. ВОЗ.

Когда автором является организация, в текстовых ссылках также используется название организации. Например: (Всемирная организация здравоохранения, 2019).

Наиболее частыми ошибками являются: отсутствие или неправильное использование DOI, некорректное указание авторов (особенно их инициалов), ошибки в оформлении заголовков статей или книг (например, использование заглавных букв для всех слов), а также неправильное указание даты публикации, особенно для электронных ресурсов. Например, авторы могут путать дату публикации и дату последнего обновления веб-страницы.

Для цитирования источников в тексте используется следующий формат: фамилия автора и год публикации указываются в скобках.

Например: (Smith, 2020).

Если указываются два автора, то это оформляется так: «(Johnson & Lee, 2017)». Если у работы три и более авторов, то указывается только первая фамилия с добавлением «et al.»: (Brown et al., 2018).

Правильно оформленные источники в стиле АРА — это не только требование редакционной политики, но и важная часть научной культуры. Соблюдение стандартов оформления помогает избежать распространенных ошибок и делает вашу работу более профессиональной и доступной для других исследователей.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

American Psychological Association. (n.d.). *APA style*. <https://apastyle.apa.org/>

Сравнительный анализ симплексной и дуплексной ПЦР для выявления фальсификации козьего молока и продуктов его термической обработки

А. В. Хан, Д. Д. Коваль, Е. Г. Лазарева, О. Ю. Фоменко

Всероссийский
научно-исследовательский
институт молочной
промышленности, г. Москва,
Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: Обеспечение безопасности и подлинности молока и продуктов его переработки — первостепенная задача молочного сектора промышленности. Современные молекулярно-генетические технологии позволяют обеспечить эффективное выявление фальсифицированной молочной продукции, а именно оценить наличие подмены одного вида молока другим. Однако исследований, посвященных молекулярной идентификации молочных продуктов, прошедших различные температурные режимы термической обработки, крайне мало. В связи с этим, актуальным направлением становится изучение влияния процессов нагревания молока на деградацию нуклеиновых кислот и последующий их анализ с помощью ПЦР-технологий для определения видового состава в пищевой промышленности.

Цель: Провести сравнительный анализ эффективности методов симплексной и дуплексной полимеразной цепной реакции (ПЦР) для определения происхождения молока и продуктов его переработки, подвергнутых различной термической обработке.

Материалы и методы: Исследование выполнено в лаборатории прикладной микробиологии и геномики микроорганизмов Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности. Объектами исследования выступали молоко сырое, пастеризованное, стерилизованное, кисломолочные продукты на йогуртовой закваске и полученные на их основе бинарные молочные смеси крупного и мелкого рогатого скота. Данное исследование направлено на применение ПЦР-технологий для решения проблемы определения видового состава молока, полученного от коровы (*Bos taurus*) и козы (*Capra hircus*) и продуктов на их основе. Из образцов пищевых продуктов выделяли суммарную ДНК для последующего анализа методом симплексной и дуплексной ПЦР с помощью набора видоспецифических олигонуклеотидных праймеров.

Результаты: Было проведено сравнение чувствительности симплексного и дуплексного ПЦР-анализа продуктов на основе молока, в ходе которого было установлено, что относительный предел обнаружения коровьей ДНК при использовании дуплексного ПЦР-анализа ниже, чем симплексного, и составил 50 % для сырого молока, 10 % — для пастеризованного молока и кисломолочного продукта на йогуртовой закваске. Чувствительность обнаружения козьей ДНК при дуплексной и симплексной ПЦР оказалась на уровне 1 % за исключением смесей стерилизованного молока: в случае использования дуплексной ПЦР предел обнаружения козьей ДНК был ниже и составил 5 %.

Выводы: Молекулярно-генетические методы с использованием митохондриальных мишеней позволяют определять происхождение молока в молочной продукции. Возможности применения ПЦР при анализе молочных продуктов, прошедших термическую обработку, ограничены размером получаемых ампликонов. Тест-системы на основе ПЦР предоставляют широкие возможности для определения состава и выявления фальсификации продукции в молочной промышленности.

Ключевые слова: ПЦР; видовая идентификация; фальсификация молока; тепловая обработка молока

Корреспонденция:

Алексей Владимирович Хан,
E-mail: a_khan@vniimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 16.01.2024

Принята: 15.08.2024

Опубликована: 30.09.2024

Финансирование.

Исследовательская работа
проведена за счёт средств
субсидии на выполнение
государственного задания
в рамках Программы
фундаментальных научных
исследований Президиума РАН
(тема № FNSS-2022-0006).

Copyright: © 2024 Авторы



Для цитирования: Хан, А.В., Коваль, Д.Д., Лазарева, Е.Г., & Фоменко, О.Ю. (2024). Сравнительный анализ симплексной и дуплексной ПЦР для выявления фальсификации козьего молока и продуктов его термической обработки. *FOOD METAENGINEERING*, 2(3), 12-24. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.63>

Comparative analysis of simplex and duplex PCR for detection of adulteration of goat milk and its heat-treated products

A.V. Khan, D.D. Koval, E.G. Lazareva, O. Yu. Fomenko

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: Ensuring the safety and authenticity of milk and technological products of its processing is the primary task of the dairy sector of the industry. Modern molecular genetic technologies make it possible to ensure effective detection of adulterated dairy products, namely to assess the presence of substitution of one type of milk for another. However, there is a significant lack of studies focused on the molecular identification of dairy products that have undergone various thermal processing regimes. In this regard, the influence of milk heating processes on the degradation of nucleic acids and their subsequent analysis using PCR technologies to determine the species composition in the food industry is becoming an actual direction.

Purpose: To conduct a comparative analysis of the effectiveness of simplex and duplex polymerase chain reaction (PCR) methods for determining the origin of milk and milk products subjected to different thermal treatments.

Materials and Methods: The work was carried out in the laboratory of applied microbiology and genomics of microorganisms of the All-Russian Research Institute of Dairy Industry. The objects of the study were raw, pasteurized, sterilized milk, fermented milk products on yogurt starter and binary milk mixtures of cattle and small ruminants obtained on their basis. This study aims to apply PCR technologies to solve the problem of determining the species composition of milk obtained from cow (*Bos taurus*) and goat (*Capra hircus*) and products based on them. Total DNA was extracted from food samples for subsequent analysis by simplex and duplex PCR using a set of species-specific oligonucleotide primers.

Results: The sensitivity of simplex and duplex PCR assays for milk-based products was compared and it was found that the relative detection limit for bovine DNA using duplex PCR was lower than simplex PCR and was 50 % for raw milk, 10 % for pasteurized milk and yoghurt starter sour milk. The sensitivity of detection of goat DNA by duplex and simplex PCR was at the level of 1 % except for sterilized milk mixtures: when duplex PCR was used, the detection limit for goat DNA was lower and amounted to 5 %.

Conclusion: Molecular genetic methods using mitochondrial targets make it possible to determine the origin of milk in dairy products. The possibilities of PCR application in the analysis of heat-treated dairy products are limited by the size of the amplicons obtained. PCR-based test systems provide a wide range of opportunities for composition and adulteration detection in the dairy industry.

Keywords: PCR; species identification; milk adulteration; heat treatment of milk

Correspondence:

A.V. Khan,
E-mail: a_khan@vnimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 16.01.2024

Accepted: 15.08.2024

Published: 30.09.2024

Funding. This research was conducted with the support of a subsidy for executing a government assignment within the framework of the Fundamental Scientific Research Program of the RAS Presidium (Project No. FNSS-2022-0006).

Copyright: © 2024 The Authors



To cite: Khan, A.V., Koval, D.D., Lazareva, E.G., & Fomenko, O. Yu. (2024). Comparative analysis of simplex and duplex PCR for detection of adulteration of goat milk and its heat-treated products. *FOOD METAENGINEERING*, 2(3), 12-24. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.63>

ВВЕДЕНИЕ

Молоко — это продукт с высокой пищевой ценностью, играющий ключевую роль в питании человека. Оно обеспечивает организм необходимыми белками, липидами, минералами, жирными кислотами, витаминами и другими важными компонентами (Зобкова и соавт., 2018; Kourkouli et al., 2024). Согласно отчету Продовольственной и сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций (Food and Agriculture Organization), молоко является одним из продуктов животного происхождения, который может способствовать достижению целей устойчивого развития, установленных согласно резолюции Генеральной Ассамблеи ООН A/RES/71/313 от 6 июля 2017 года¹. При правильном питании молоко может помочь в борьбе с истощением детей до 5 лет, низким весом при рождении, задержкой в росте, анемией у женщин репродуктивного возраста, ожирением и инфекционными заболеваниями². Рекомендуемая норма потребления молока и молочных продуктов составляет 325 килограммов в год на душу населения (Агарков и соавт., 2023). Аналитические исследования прогнозируют, что с 2024 по 2028 год рынок молочных продуктов будет расти ежегодно на 7,32 %³.

Коровье и козье молоко — одни из самых востребованных видов молока в мире (Hazra et al., 2017). По словам бывшего министра сельского хозяйства РФ Дмитрия Патрушева, в 2023 году было произведено 33,5 млн тонн коровьего молока, что на 1,2 млн тонн больше, чем в 2021 г. (Зимняков и соавт., 2023). Годовое производство козьего молока остаётся на уровне 236–255 тыс. тонн⁴. Состав и свойства молока во многом видоспецифичны (Шувариков и соавт., 2018; Barłowska, et al., 2012). Коровье молоко является наиболее доступным и дешевым видом молока. Корова дает гораздо больше молока, чем другой молочный скот (~15 л/сут). По сравнению с козьим молоком, оно содержит больше железа, серы, цинка, молибдена, рибонуклеазы, липазы, щелочной фосфатазы и ксантиносидазы. Однако козье молоко содержит больше кальция, калия, магния, фосфора, хлора и марганца, и меньше лактозы, что делает его более подходящим для людей с недостатком фермента лактазы (Меркушева и соавт., 2005; Golinelli et al., 2014).

В современной молочной промышленности наблюдается растущий тренд на производство продуктов из смеси коровьего и козьего молока. Такое сочетание не только объединяет уникальные питательные свойства обоих видов молока, но и обеспечивает достаточно доступную цену для потребителя. Так же козье молоко как обогащающий компонент применяется для создания продуктов функциональной направленности (Мельденберг и соавт., 2020; Lad et al., 2017).

Однако в связи с короткими сроками хранения сырого молока, данный вид продукта часто подвергается различным способам обработки: механической (сепарирование, гомогенизация и др.), термической (пастеризация, стерилизация и др.) и др. (Шегидевич, 2021; Чарыков и соавт., 2017). Также следует учитывать, что идентифицировать подлинный состав молочных продуктов, подвергшихся различным этапам технологических процессов и установить наличие подмены молока в продукции из козьего молока и других видов домашнего скота, весьма сложно (Lopez-Calleja et al., 2004).

Борьба с фальсификацией молочных продуктов является высоким приоритетом мирового сообщества, поскольку такие продукты потребляются уязвимыми группами населения: детьми, беременными женщинами, пожилыми и больными людьми. Употребление поддельных молочных продуктов представляет серьезную угрозу для здоровья и жизни этих категорий населения из-за возможных аллергических реакций и других негативных последствий (Гильманов и соавт., 2020; Handford, et al., 2016). Особое внимание необходимо уделить детским сухим молочным смесям, предназначенным для искусственного вскармливания, поскольку подмена одного вида молока другим в данном случае неприемлема. Многие потребители отдают предпочтение смесям, на основе козьего молока, поскольку существует множество данных о том, что козье молоко в силу своего состава лучше усваивается организмом ребенка (Захарова с соавт., 2021). Несмотря на растущую популярность данных продуктов, до сих пор не существует

¹ Assembly, G. (2017). Resolution adopted by the General Assembly on 6 July 2017. In Technical Report A/RES/71/313.

² FAO. (2023). Contribution of Terrestrial Animal Source Food to Healthy Diets for Improved Nutrition and Health Outcomes—an Evidence and Policy Overview on the State of Knowledge and Gaps.

³ Statista. (2024). Dairy products & eggs worldwide: Statista's forecast. <https://www.statista.com/outlook/cmo/food/dairy-products-eggs/worldwide>

⁴ Milknews (2023). Что происходит на рынке коровьего молока. <https://milknews.ru/longridy/Chto-proishodit-na-rynke-kozego-moloka.html>

стандартов, регулирующих проверку молока на его видоспецифичность.

Широкое применение для определения видовой принадлежности молочных продуктов получили молекулярно-генетические методы (Гильманов и соавт., 2020; Pokorska, et al., 2016). К их числу относится метод простой или симплексной ПЦР (simplex PCR), которая проводится с одной парой праймеров (Wang et al., 2020; López-Calleja et al., 2004; Hazra et al., 2017). Симплексная ПЦР позволяет идентифицировать ДНК как одного, так и нескольких видов животных, но для идентификации нескольких видов животных необходимо подбирать универсальные праймеры, которые после амплификации дадут ПЦР-продукты разной длины. Однако не всегда есть возможность создать универсальные праймеры, которые давали бы однозначный результат на электрофореграмме, а именно имели бы четко различимую разницу по длине получаемых ПЦР-продуктов. Поэтому в качестве альтернативы прибегают к мультиплексной ПЦР (Multiplex PCR (M-PCR)), для проведения которой требуется одновременное использование несколько пар праймеров в одной реакции.

В настоящее время системы мультиплексной ПЦР были разработаны для видоидентификации молока и молочных продуктов из ослиного, верблюжьего, лошадиного, козьего и коровьего молока (Deng et al., 2020). Предыдущие опубликованные исследования в основном акцентируют внимание на обнаружении видовой фальсификации в сыром молоке (Kourkouli et al., 2024; Rodrigues et al., 2012) и/или сыре (Golinelli et al., 2014). Число работ, рассматривающих потенциальные проблемы идентификации продуктов из молока с различным уровнем тепловой обработки, чрезвычайно мало. В связи с разнообразием продуктового ассортимента на рынке в молочной индустрии следует интенсивно расширять область применения универсальных способов выявления фальсификации в пищевой продукции, в независимости от технологических способов ее получения.

Целью данного исследования являлось проведение сравнительного анализа эффективности методов симплексной и дуплексной ПЦР для определения происхождения молока-сырья и продуктов его термической переработки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Сырое козье и коровье молоко, приобретённое на местном сельскохозяйственном рынке, а также полученные на их основе в лабораторных условиях пастеризованное и стерилизованное молоко, кисломолочные продукты на йогуртовой закваске и приготовленные бинарные смеси молочных матриц с различным объёмным содержанием молока разных видов.

Подготовка образцов

Пастеризованное и стерилизованное молоко

Пастеризацию сырого молока осуществляли при температуре $90 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 5 минут на водяной бане. Стерилизацию молока проводили автоклавированием при температуре $121 \pm 2^\circ\text{C}$ и давлении 0,15 МПа в течение 3 минут в паровом стерилизаторе NB-1 100 (N-Biotek, Южная Корея).

Кисломолочные продукты на йогуртовой закваске

Для получения кисломолочных продуктов использовали жидкие закваски, изготовленные на основе стерилизованного козьего и коровьего молока. В каждый тип молока были добавлены культуры микроорганизмов из коллекции ФГАНУ «ВНИМИ» *Str. thermophilus* (штамм бкб) и *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* (штамм L37/7). После добавления культур молоко охлаждали до температуры сквашивания, затем оно инкубировалось при температуре $40 \pm 2^\circ\text{C}$ в термостате на протяжении ночи.

При выработке кисломолочных продуктов в предварительно пастеризованное и охлажденное молоко добавляли 5 % жидкой йогуртовой закваски, далее смесь вновь подвергалась термостатной инкубации при температуре $40 \pm 2^\circ\text{C}$ на протяжении 4 часов. По завершении процесса инкубации кисломолочные продукты охлаждали до температуры $25\text{--}30^\circ\text{C}$, тщательно перемешивали и переводили для хранения в холодильную камеру, где они сохранялись при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$ на протяжении ночи.

Бинарные смеси

Из образцов полученных продуктов термической обработки готовили молочные смеси с различным объёмным соотношением козьего и коровьего молока:

А. В. Хан, Д. Д. Коваль, Е. Г. Лазарева, О. Ю. Фоменко

100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 70, 60, 50, 40, 30, 25, 20, 10, 5, 2, 1 и 0 % (козьего молока).

Экстракция ДНК

Образцы молочной продукции объемом 1 мл (жидкие) или 0,5 мл (йогурты) центрифугировали при 10 000 g в течении 5 минут с последующим удалением надосадочной жидкости. Полученный осадок использовался в качестве источника для выделения нуклеиновых кислот с использованием наборов «ДНК-Сорб-С-М» (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия) в соответствии с инструкцией производителя.

Олигонуклеотидные праймеры

Последовательности олигонуклеотидных праймеров были заимствованы из работы Deng et al., 2020 (Таблица 1).

Симплексная и дуплексная ПЦР-амплификация

Амплификацию специфического участка гена 16S рПНК *Bos taurus* проводили методом ПЦР с помощью видоспецифических праймеров BT-F и BT-R при температуре отжига 57 °С. ПЦР-скрининг проводили в 25 мкл реакционной смеси, состоявшей из 5 мкл 5xScreen Mix (ЗАО «Евроген», Россия), 1 мкл 10мМ праймера BT-F, 1 мкл 10мМ праймера BT-R, 1 мкл образца ДНК и 17 мкл деионизированной воды (ЗАО «Евроген», Россия).

Амплификацию специфического участка гена D-петли *Capra hircus* проводили методом ПЦР с использованием видоспецифических праймеров CH-F и CH-R. ПЦР-скрининг проводили в 25 мкл реакционной смеси, включавшей в себя 5 мкл 5xScreen Mix (ЗАО «Евроген», Россия), 1 мкл 10мМ праймера CH-F, 1 мкл 10мМ праймера CH-R,

1 мкл образца ДНК и 17 мкл деионизированной воды (ЗАО «Евроген», Россия).

Реакционная смесь для одновременной дуплексной ПЦР-амплификации специфических фрагментов митохондриальных геномов коров и коз методом дуплексной ПЦР состояла из 5 мкл 5xScreen Mix (ЗАО «Евроген», Россия), 1 мкл 10мМ праймера BT-F, 1 мкл 10мМ праймера BT-R, 1 мкл 10мМ праймера CH-F, 1 мкл 10мМ праймера CH-R, 1 мкл образца ДНК и 15 мкл деионизированной воды (ЗАО «Евроген», Россия).

Амплификацию проводили на приборе MiniAmp (ThermoFisher Scientific, США) с использованием следующей программы: первичная денатурация 95 °С в течение 5 минут; 35 циклов следующего вида: денатурация при 95 °С в течение 15 секунд; отжиг праймеров в течение 15 секунд при температуре 57 °С; элонгация цепей при 72 °С в течение 30 секунд; финальная элонгация цепей в течение 10 минут при 72 °С. Теоретически ожидаемая длина получаемых ампликонов для *Bos taurus* и *Capra hircus* составляла 583 и 184 п.о. соответственно.

При этом при проведении ПЦР-анализов всегда использовали контроли: отрицательный контроль представляет собой образец, в котором вместо ДНК добавляют воду в реакционную смесь, два других контроля — образцы с чистой геномной ДНК коровы и геномной ДНК козы, выделенных из ушных выщипов жвачных животных.

Аналитический электрофорез

Анализ результатов ПЦР проводили путём разделения ампликонов в 2 % геле агарозы I (VWR International LLC, США), окрашенном раствором бромистого этидия, при напряжении электрического поля 7 В/см геля. В качестве маркера длин фрагментов ДНК был использован «100+ bp DNA Ladder» (ЗАО «Евроген», Россия). Резуль-

Таблица 1
Характеристики олигонуклеотидных праймеров

Table 1
Characteristics of Oligonucleotide Primers

Ген	Праймер	Последовательность	Размер продукта	Локализация
16S рПНК	BT-F	5'-ACCCTCTCGACTAAACAACCAAGATAG-3'	583 п.н.	NC_006853.1
	BT-R	5'-TGGGGCTAGGAGTTAATCATTTGTTG -3'		
D-loop	CH-F	5'- ACTCCACAAGCTTACAGACATGCCA -3'	184 п.н.	NC_005044.2
	CH-R	5'- GAAGGCTGTATGTCCGCGTTATATG -3'		

А. В. Хан, Д. Д. Коваль, Е. Г. Лазарева, О. Ю. Фоменко

таты гель-электрофореза визуализировали с помощью системы гель-документирования Vilber E-Box-CX5.TS (Vilber, Франция), на трансиллюминаторе Vilber Super-Bright (Vilber, Франция) с длиной волны 312 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ бинарных молочных матриц симплексной ПЦР

На первом этапе проверили пригодность пары праймеров BT-F и BT-R для обнаружения целевой последовательности рибосомальной 16S РНК генома *Bos taurus* (корова) методом симплексной ПЦР в смоделирован-

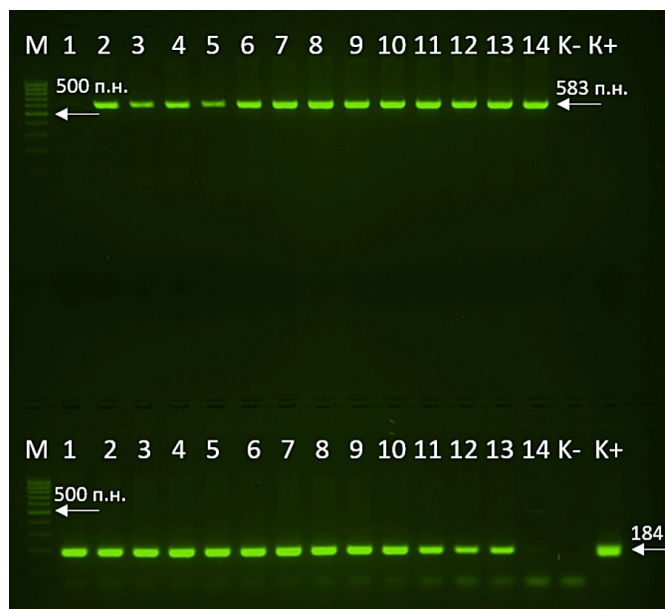
ных в условиях лаборатории модельных смесях козьего и коровьего молока, имитировавших различный уровень фальсификации сырья. Аналогично, но уже с использованием пары специфических праймеров CH-F и CH-R, комплиментарных последовательностям митохондриального генома *Capra hircus* (коза), выявляли присутствие козьей ДНК в вышеописанных бинарных молочных смесях. В молочных матрицах доля примеси коровьего молока (v/v) варьировала от 1 до 99%. В ходе анализа электрофореграмм было установлено, что праймеры BT-F и BT-R позволяют эффективно выявлять примесь коровьего молока в козьем начиная с 1% как в сыром (Рисунок 1), так и в пастеризованном молоке (Рисунок 2). При этом во всех исследуемых образцах

Рисунок 1

Электрофореграмма продуктов амплификации фрагментов гена 16S рРНК коровы (верхний ряд) и D-петли козы (нижний ряд) в ходе симплексной ПЦР

Figure 1

Electrophoregram of Amplification Products of 16S rRNA Gene Fragments in Cattle (Top Row) and D-Loop in Goats (Bottom Row) During Simplex PCR



Примечание. 1–14 — образцы ДНК, выделенной из смесей сырого козьего и коровьего молока в соотношениях: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1 и 0% (козьего молока); «К-» — отрицательный контроль; «К+» — ДНК козы; М — маркер длин ДНК «100 + bp DNA Ladder»

Note. 1–14 — DNA samples extracted from raw goat and cow milk mixtures in the following ratios: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1, and 0% (goat milk); «K-» — negative control; «K+» — goat DNA; M — DNA length marker «100 + bp DNA Ladder»

Рисунок 2

Электрофореграмма продуктов амплификации фрагментов гена 16S рРНК коровы (верхний ряд) и D-петли козы (нижний ряд) в ходе симплексной ПЦР

Figure 2

Electrophoregram of Amplification Products of 16S rRNA Gene Fragments in Cattle (Top Row) and D-Loop in Goats (Bottom Row) During Simplex PCR



Примечание. 1–14 — образцы с ДНК, выделенной из смесей пастеризованного козьего и коровьего молока в соотношениях: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1 и 0% (козьего молока); «К-» — отрицательный контроль; «К1+» — ДНК коровы; «К2+» — ДНК козы; М — маркер длин ДНК «100 + bp DNA Ladder»

Note. 1–14 — DNA samples extracted from mixtures of pasteurized goat and cow milk in the following ratios: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1, and 0% (goat milk); «K-» — negative control; «K1+» — cow DNA; «K2+» — goat DNA; M — DNA length marker «100 + bp DNA Ladder»

А. В. Хан, Д. Д. Коваль, Е. Г. Лазарева, О. Ю. Фоменко

с коровьей ДНК наблюдался ампликон с теоретически ожидаемым размером — 583 п.н.

Кроме того, также было определено, что симплексный ПЦР-анализ с праймерами CH-F и CH-R высокочувствителен в отношении ДНК козы, и способен определять наличие козьего молока ($\geq 1\%$) в различных бинарных молочных смесях (Рисунки 1–4), поскольку во всех пробах с наличием козьей ДНК наблюдался ПЦР-продукт видоспецифической амплификации размером 184 п.н.

Аналогичные результаты были получены при использовании симплексной ПЦР для выявления содержания

коровьего молока в образцах кисломолочных продуктов, приготовленных на йогуртовой закваске. Предел обнаружения ДНК коровы составил 1 % (Рисунок 3).

Однако при попытке амплификации фрагмента коровьего гена 16S рРНК длиной 583 пары нуклеотидов на матрице суммарной ДНК, выделенной из стерилизованного молока, продукты реакции не наблюдались ни в одном из рассмотренных случаев (Рисунок 4). Вероятно, данный факт связан с сильным повреждением молекул ДНК в процессе стерилизации сырого молока, приводящей к образованию фрагментов с длиной, не-

Рисунок 3

Электрофореграмма продуктов ПЦР амплификации фрагментов гена 16S рРНК коровы (верхний ряд) и D-петли козы (нижний ряд)

Figure 3

Electrophoregram of PCR Amplification Products of 16S rRNA Gene Fragments in Cattle (Top Row) and D-Loop in Goats (Bottom Row)



Примечание. 1–14 — образцы ДНК, выделенной из кисломолочных продуктов на йогуртовой закваске из смесей пастеризованного козьего и коровьего молока в соотношениях: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1 и 0 % (козьего молока); «K-» — отрицательный контроль; «K+» — ДНК козы; M — маркер длин ДНК «100 + bp DNA Ladder».

Note. 1–14 — DNA samples extracted from fermented dairy products made with yogurt starter cultures from mixtures of pasteurized goat and cow milk in the following ratios: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1, and 0 % (goat milk); «K-» — negative control; «K+» — goat DNA; M — DNA length marker «100 + bp DNA Ladder».

Рисунок 4

Электрофореграмма продуктов амплификации фрагментов гена 16S рРНК коровы (верхний ряд) и D-петли козы (нижний ряд) при симплексной ПЦР

Figure 4

Electrophoregram of Amplification Products of 16S rRNA Gene Fragments in Cattle (Top Row) and D-Loop in Goats (Bottom Row) During Simplex PCR



Примечание. 1–14 — образцы ДНК, выделенной из смесей стерилизованного козьего и коровьего молока в соотношениях: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1 и 0 % (козьего молока); «K-» — отрицательный контроль; «K1+» — ДНК коровы; «K2+» — ДНК козы; M — маркер длин ДНК «100 + bp DNA Ladder».

Note. 1–14 — DNA samples extracted from mixtures of sterilized goat and cow milk in the following ratios: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1, and 0 % (goat milk); «K-» — negative control; «K1+» — cow DNA; «K2+» — goat DNA; M — DNA length marker «100 + bp DNA Ladder».

А. В. Хан, Д. Д. Коваль, Е. Г. Лазарева, О. Ю. Фоменко

достаточной для синтеза ампликонов требуемой протяжённости. Тем не менее, амплифицированные фрагменты генов козьей ДНК были получены и визуально детектированы, что подтверждает возможность выявления продуктов ПЦР меньшей длины.

Анализ бинарных молочных матриц дуплексной ПЦР

Следующим этапом было проведение дуплексной ПЦР с одновременным использованием двух пар праймеров в одной пробирке для определения относительной чувствительности анализа. ПЦР-продукт размером 583 п.н. не наблюдался при использовании образцов смесей с минимальным внесением коровьего молока, в то время как бэнды, соответствующие целевому продукту с козьего генома присутствовали. Однако количество амплифицированных продуктов с коровьего генома увеличивалось в ряду анализа проб повышения содержания целевой матрицы ДНК *Bos taurus*, что в конечном счете проявилось в виде фрагментов теоретически ожидаемой длины, начиная

с образца 9, соответствующего 50 % примеси коровьего молока (Рисунок 5).

Относительный предел чувствительности дуплексного ПЦР-анализа смесей пастеризованного молока составил 10 % объёмной примеси коровьего молока, что ниже, чем при симплексной ПЦР (Рисунок 6). Напротив, ампликоны, полученные с митохондриальной ДНК козы, были визуально различимы и присутствовали в образцах 1–10 на электрофореграммах всех исследованных бинарных матриц (Рисунки 5–8), что указывает на высокую чувствительность дуплексной ПЦР при амплификации козьей ДНК, нижний предел которой составил 5 % для стерилизованного молока и 1 % — для остальных продуктов (Рисунки 5–7).

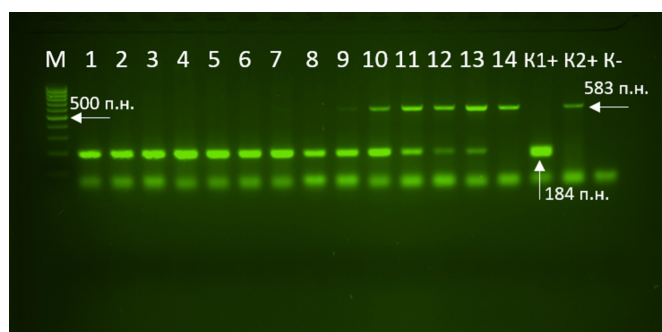
По сравнению с ПЦР с применением одной пары праймеров ПЦР с двумя парами праймерами демонстрировала более низкую чувствительность и в случае кисломолочных продуктов на йогуртовой закваске, приготовленных с использованием смесей козьего и коровьего молока. Предел обнаружения примеси коровьего молока составил 10 %.

Рисунок 5

Электрофореграмма продуктов амплификации фрагментов генов 16S рРНК коровы и D-петли при проведении дуплексной ПЦР

Figure 5

Electrophoregram of Amplification Products of 16S rRNA Gene Fragments in Cattle and D-Loop During Duplex PCR



Примечание. 1–14 — образцы ДНК, выделенной из смесей сырого козьего и коровьего молока в соотношениях: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1 и 0 % (козьего молока); «K-» — отрицательный контроль; «K1+» — ДНК козы; «K2+» — ДНК коровы; M — маркер длин ДНК «100 + bp DNA Ladder»

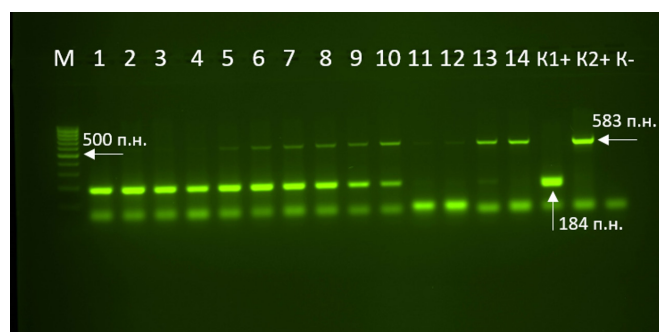
Note. 1–14 — DNA samples extracted from mixtures of raw goat and cow milk in the following ratios: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1, and 0 % (goat milk); «K-» — negative control; «K1+» — goat DNA; «K2+» — cow DNA; M — DNA length marker «100 + bp DNA Ladder»

Рисунок 6

Электрофореграмма продуктов амплификации фрагментов генов 16S рРНК коровы и D-петли в процессе дуплексной ПЦР

Figure 6

Electrophoregram of Amplification Products of 16S rRNA Gene Fragments in Cattle and D-Loop During Duplex PCR



Примечание. 1–14 — образцы ДНК, выделенной из смесей пастеризованного козьего и коровьего молока в соотношениях: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1 и 0 % (козьего молока); «K-» — отрицательный контроль; «K1+» — ДНК козы; «K2+» — ДНК коровы; M — маркер длин ДНК «100 + bp DNA Ladder»

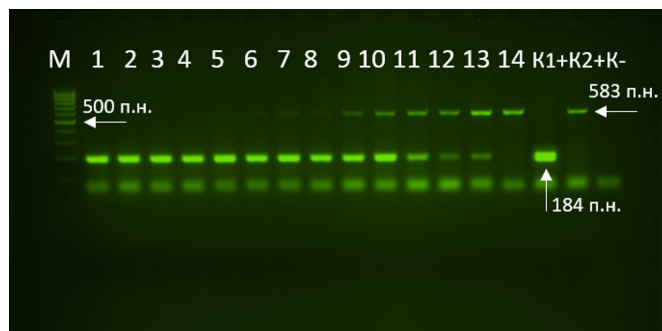
Note. 1–14 — DNA samples extracted from mixtures of pasteurized goat and cow milk in the following ratios: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1, and 0 % (goat milk); «K-» — negative control; «K1+» — goat DNA; «K2+» — cow DNA; M — DNA length marker «100 + bp DNA Ladder»

Рисунок 7

**Электрофореграмма продуктов амплификации
фрагментов генов 16S рРНК коровы и D-петли в ходе
дуплексной ПЦР**

Figure 7

**Electrophoregram of Amplification Products of 16S rRNA
Gene Fragments in Cattle and D-Loop During Duplex PCR**



Примечание. 1–14 — образцы ДНК, выделенной из кисломолочных продуктов на йогуртовой закваске, полученных из смесей козьего и коровьего молока в соотношениях: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1 и 0% (козьего молока); «K-» — отрицательный контроль; «K1+» — ДНК козы; «K2+» — ДНК коровы; M — маркер длин ДНК «100 + bp DNA Ladder»

Note. 1–14 — DNA samples extracted from fermented dairy products made with yogurt starter cultures from mixtures of goat and cow milk in the following ratios: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1, and 0% (goat milk); «K-» — negative control; «K1+» — goat DNA; «K2+» — cow DNA; M — DNA length marker «100 + bp DNA Ladder».

Далее была проведена дуплексная ПЦР, которая также показала, что в данных препаратах ДНК происходит только специфическая амплификация фрагмента D-петли *C. hircus* (Рисунок 8).

При проведении дуплексной ПЦР на ДНК смесях стерилизованного козьего и коровьего молока предполагалось, что чувствительность обнаружения козьей ДНК останется на уровне 1 %, как и в случае постановки симплексной ПЦР. Однако чувствительность оказалась ниже и составила 5 %. Возможно, это снижение связано с тем, что наличие четырёх праймеров в ПЦР-реакции негативно влияет на её эффективность. Результат амплификации коровьей ДНК совпал с тем, который был бы получен при использовании одной пары праймеров.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

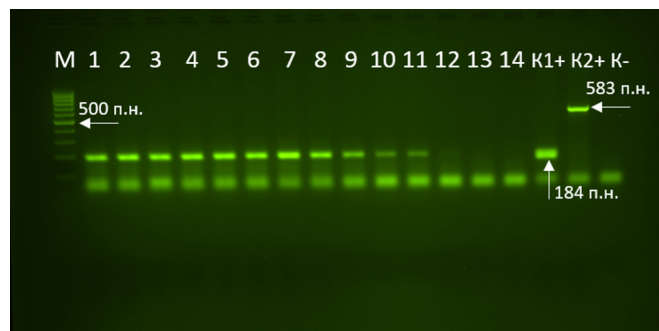
Цель текущего исследования заключалась в сравнении эффективности современных молекулярно-генетических методов (simplex и multiplex PCR) для определения

Рисунок 8

**Электрофореграмма продуктов амплификации
фрагментов генов 16S рРНК коровы и D-петли в ходе
дуплексной ПЦР**

Figure 8

**Electrophoregram of Amplification Products of 16S rRNA
Gene Fragments in Cattle and D-Loop During Duplex PCR**



Примечание. 1–14 — образцы ДНК, выделенной из смесей стерилизованного козьего и коровьего молока в соотношениях: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1 и 0% (козьего молока); «K-» — отрицательный контроль; «K1+» — ДНК козы; «K2+» — ДНК коровы; M — маркер длин ДНК «100 + bp DNA Ladder».

Note. 1–14 — DNA samples extracted from mixtures of sterilized goat and cow milk in the following ratios: 100, 99, 98, 95, 90, 85, 80, 75, 50, 25, 5, 2, 1, and 0% (goat milk); «K-» — negative control; «K1+» — goat DNA; «K2+» — cow DNA; M — DNA length marker «100 + bp DNA Ladder».

видовой принадлежности молока и продуктов на его основе, полученных при различных уровнях температурных режимов. Мы провели анализ проб молочных матриц с помощью симплексной и дуплексной ПЦР с использованием праймеров на *C. hircus* и *B. taurus*. При этом условия термоциклирования были идентичны для всех ПЦР. После провели разделение полученных ампликонов в геле для выявления наиболее оптимального метода ПЦР. Результаты показали, что по сравнению с дуплексной ПЦР, симплексная ПЦР — более эффективный метод видовой идентификации молочной продукции. Нами установлено, что использование одной или двух пар олигонуклеотидных праймеров оказывает значительный эффект на чувствительность методов молекулярной биологии. Simplex PCR доказала свою надежность, благодаря возможности обнаружения даже следовых количеств подмены молока, что критично при тестировании молочной продукции. Данный факт вероятно связан с тем, что в реакционной смеси происходят конкурирующие процессы олигонуклеотидов, приводящие к снижению накопления целевых продук-

тов амплификации при мультиплексной ПЦР (Kalle, et al., 2014). Существует риск неспецифического связывания одноцепочечных ДНК, который может привести к амплификации димеров праймеров и снижению чувствительности. Например, Hird et al. (2006) сосредоточили своё внимание на оценке взаимосвязи скорости амплификации и размере ампликонов, получаемых с пищевых матриц. В ходе эксперимента было обнаружено, что, хотя малый размер ампликонов и увеличивает вероятность амплификации, но одновременно повышает риск появления неспецифических продуктов реакции. Полученные результаты подтвердили наше предположение о том, что методы молекулярной генетики оптимальны для обнаружения специфических генетических локусов в продуктах, вырабатываемых из молока. Особо интересным оказался результат ПЦР при анализе стерилизованного молока, где мы наблюдали амплификацию только коротких фрагментов ДНК. Влияние процессов нагревания молока на деградацию нуклеиновых кислот требует дальнейшего изучения.

По мнению ряда авторов, развитие и апробация современных молекулярных методов анализа становится приоритетным и перспективным направлением для подтверждения подлинности товаров народного потребления (Lopez-Calleja et al., 2004; Golinelli et al., 2014; Galal-Khallaf et al., 2021). Среди таких методов наибольшее распространение получили подходы, основанные на полимеразной цепной реакции с использованием одной или нескольких пар олигонуклеотидных праймеров, таких как симплексная, дуплексная и мультиплексная ПЦР, которые позволяют амплифицировать целевые генетические маркеры (De et al., 2011; Guo et al., 2018; Lopez-Calleja et al., 2004; Galal-Khallaf et al., 2021). Классическими примерами таких маркеров, широко используемых в молочной и мясной промышленности, являются рибосомальные гены, например, 12S и 16S рРНК, которые играют ключевую роль в процессах транскрипции клеток (Tuncay et al., 2022). Применение гена 16S рРНК особенно распространено в филогенетических исследованиях благодаря его наличию во всех клеточных формах, высокой консервативности функций, чередованию консервативных и вариабельных участков внутри гена, а также отсутствию горизонтального переноса этого гена между организмами (Stackebrandt, 2009). В научных трудах по вопросам аутентичности молочного сырья также часто используется митохондриальная ДНК, включая гены *cytB* и *D*-петлю, последняя из которых, благодаря своему высокому уровню

изменчивости, обладает особой ценностью для этих исследований (Putri et al., 2019). Например, в работе Deng et al. (2020) для исследования фальсификации сырого молока разных видов и продуктов его термической обработки были использованы митохондриальные мишени, такие как 16S рРНК и *D*-петля. Исследования проводились при температурных режимах пастеризации 62–65 °С в течение 30 минут и стерилизации 135–150 °С в течение 2–6 секунд. В отличие от их подхода, в нашем исследовании использовались иные температурные режимы: пастеризация при 90 ± 2 °С в течение 5 минут и стерилизация при 121 ± 2 °С в течение 3 минут. Кроме того, был проведён анализ кисломолочных продуктов, полученных на основе молока, прошедшего описанную выше термическую обработку.

Результаты проведенного исследования демонстрируют, что при дизайне и подборе олигонуклеотидных праймеров для успешной амплификации фрагментов видоспецифических молекулярных маркеров обязательно следует учитывать размер ампликонов при разработке тест-систем для идентификации видового состава термически обработанных молочных продуктов. Также полученные данные подчеркивают важность учета комплексной переработки молочного сырья при установлении нарушений технологии производства, поскольку высокотемпературные режимы могут оказывать негативное воздействие на нуклеиновые кислоты. Разработка панели праймеров, позволяющей амплифицировать участки митохондриальных геномов жвачных животных длиной около 100 п.о. позволит повысить чувствительность дуплексной ПЦР и получить сравнимую с симплексными системами эффективность реакции. Кроме того, особое внимание стоит уделить различным способам тепловой обработки молочного сырья: диапазон температур, продолжительность выдержки и охлаждения, а также другим значимым технологическим параметрам, используемым при производстве молочных продуктов.

Одним из ключевых ограничений данного исследования являлся узкий выбор температурных и временных параметров, использованных для выработки молочных продуктов. В дополнение к этому молекулярное тестирование проводилось с помощью пар праймеров, способных амплифицировать только ПЦР-продукты размером 184 п.н. и 583 п.н., что не позволяет учитывать потенциальные риски возникновения ложноотрицательных, ложноположительных результатов

ПЦР при синтезе фрагментов большей или меньшей протяженности. В связи с этим заслуживает внимание проверка молочного сырья с использованием олигонуклеотидных праймеров, позволяющих синтезировать фрагменты длины, отличной от вышеописанных. Несмотря на данные ограничения, мы убеждены, что результаты демонстрируют основные проблемы анализа термически обработанных молочных продуктов и способы их преодоления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное исследование подтверждает эффективность применения молекулярно-генетических методов, в частности ПЦР (simplex и duplex), для видовой идентификации молочных продуктов, подвергшихся различным видам термической обработки. Чувствительность simplex ПЦР оказалась выше по сравнению с duplex ПЦР, что делает её предпочтительным методом для обнаружения малых количеств примесей молока другого вида. Важно отметить, что стерилизация молока вызывает значительное разрушение ДНК, что усложняет амплификацию более крупных фрагментов генов, что подтверждает необходимость разработки более устойчивых методов анализа для таких проб. Предложенные молекулярно-генетические методы могут быть эффективно использованы для выявления фальсификаций в молочных продуктах, что является важным шагом для защиты прав потребителей и обеспечения подлинности продукции на рынке. Разработанные подходы могут быть внедрены в практику как при контроле производства молочных продуктов, так и для разработки новых стандартов по видовой идентификации в молочной промышленности.

Для дальнейшего совершенствования методов необходимо сосредоточить внимание на разработке более чувствительных тест-систем, которые будут использовать панели праймеров, способных амплифицировать короткие фрагменты ДНК, что обеспечит более высокую точность и надёжность при анализе. Также перспективным направлением дальнейших исследований является

изучение влияния различных технологических параметров производства на фрагментацию ДНК, что позволит улучшить существующие методы контроля подлинности молочных продуктов и расширить возможности их применения в промышленности.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Алексей Владимирович Хан: общее руководство и дизайн исследования; подготовка и создание рукописи, проведение экспериментальных исследований, сбор и анализ полученных данных.

Дарья Дмитриевна Коваль: подготовка и создание рукописи, проведение экспериментальных исследований, сбор и анализ полученных данных.

Екатерина Германовна Лазарева: визуализация, формулирование исследовательских целей и задач, сбор и анализ полученных данных.

Олег Юрьевич Фоменко: общее руководство и дизайн исследования, курирование данных, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexey Vladimirovich Khan: overall supervision and study design; manuscript preparation and development, conducting experimental research, data collection and analysis.

Daria Dmitrievna Koval: manuscript preparation and development, conducting experimental research, data collection and analysis.

Ekaterina Germanovna Lazareva: visualization, formulation of research objectives and tasks, data collection and analysis.

Oleg Yuryevich Fomenko: overall supervision and study design, data curation, editing, and approval of the final version of the article.

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

- Агарков, К. В., & Пряничникова, Н. С. (2023). Актуальность разработки новых видов сухих смесей на молочной основе. *Пищевые инновации и биотехнологии: Сборник тезисов XI Всероссийской (национальной) научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых* (с. 94–96). Кемерово: Кемеровский государственный университет.
- Agarov, K. V., & Pryanichnikova, N. S. (2023). Relevance of developing new types of dry milk-based mixtures. *Food innovations and biotechnology: Proceedings of the 11th All-Russian (National) Scientific Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists* (pp. 94–96). Kemerovo: Kemerovo State University. (In Russ.)
- Гильманов, Х. Х., Вафин, Р. Р., Блиадзе, В. Г., & Михайлова, И. Ю. (2020). Проблема фальсификации видовой принадлежности молока. *Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством*, 1(1), 125–129. <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-125-129>
- Gilmanov, Kh. Kh., Vafin, R. R., Bliadze, V. G., & Mikhailova, I. Yu. (2020). The problem of falsification of milk species. *Aktual'nye voprosy molochnoy promyshlennosti, mezhotraslevye tekhnologii i sistemy upravleniya kachestvom*, 1(1), 125–129. (In Russ.) <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-125-129>
- Захарова, И.Н., & Сугян, Н.Г. (2021). Использование козьего молока в питании детей раннего возраста (клинические примеры). *Медицинский совет*, (17), 175–181. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-17-175-181>
- Zakharova, I.N., & Sugyan, N.G. (2021). The use of goat's milk in the nutrition of young children (clinical examples). *Medical Council*, (17), 175–181. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-17-175-181>
- Зимняков, В. М., Ильина, Г. В., Ильин, Д. Ю., & Зимняков, А. М. (2023). Состояние, проблемы и перспективы производства молока в России. *Техника и технологии в животноводстве*, 1(49), 4–10. <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-1-4>
- Zimnyakov, V. M., Ilyina, G. V., Ilyin, D. Yu., & Zimnyakov, A. M. (2023). State, problems and prospects of milk production in Russia. *Machinery and technologies in livestock*, 1(49), 4–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-1-4>
- Зобкова, З. С., Фурсова, Т. П., & Зенина, Д. В. (2018). Выбор белковых ингредиентов, обогащающих и модифицирующих структуру кисломолочных напитков. *Актуальные вопросы индустрии напитков*, (2), 64–69. <https://doi.org/10.21323/978-5-6041190-3-7-2018-2-64-69>
- Zobkova, Z. S., Fursova, T. P., & Zenina, D. V. (2018). Selection of protein ingredients that enrich and modify the structure of fermented milk drinks. *Aktual'nye voprosy industrii napitkov*, (2), 64–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/978-5-6041190-3-7-2018-2-64-69>
- Мельденберг, Д. Н., Полякова, О. С., Семёнова, Е. С., & Юрова, Е. А. (2020). Разработка комплексной оценки белкового состава молока сырья различных сельскохозяйственных животных для выработки продуктов функциональной направленности. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 118–133. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.352>
- Meldenberg, D. N., Polyakova, O. S., Semyonova, E. S., & Yurova, E. A. (2020). Development of a comprehensive assessment of the protein composition of raw milk from various farm animals for the development of functional products. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 118–133. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.352>
- Меркушева, И. Н., Петриченко, С. П., & Кожухова, М. А. (2005). Пищевая и биологическая ценность козьего молока. *Известия вузов. Пищевая технология*, (2–3), 44–46.
- Merkusheva, I. N., Petrichenko, S. P., & Kozhukhova, M. A. (2005). Nutritional and biological value of goat milk. *Izvestiya vuzov. Food technology*, (2–3), 44–46. (In Russ.)
- Чарыков, В. И., Злыднев, А. Н. (2017). Анализ электрофизических методов пастеризации молока. *Приоритетные направления развития энергетики в АПК*, 1(1), 34–38.
- Charykov, V. I., Zlydnev, A. N. (2017). Analysis of electrophysical methods of milk pasteurisation. *Prioritetnye napravleniya razvitiya energetiki v APK*, 1(1), 34–38. (In Russ.)
- Шегидевич, Е. Д. (2021). Изменение белкового состава молочного сырья при механической и термической обработке. *Молодежь в науке-2021*, 1(1), 131–133.
- Shegidevich, E. D. (2021). Changes in protein composition of dairy raw materials during mechanical and thermal processing. *Molodezh' v nauke-2021*, 1(1), 131–133. (In Russ.)
- Шуварики, А. С., Канина, К. А., Робкова, Т. О., & Юрова, Е. А. (2018). К вопросу оценки состава овечьего, козьего и коровьего молока. *Овцы, козы, шерстяное дело*, 1(1), 20–22.
- Shuvarikov, A. S., Kanina, K. A., Robkova, T. O., & Yurova, E. A. (2018). On the issue of assessing the composition of sheep, goat and cow milk. *Sheep, goats, wool business*, 1(1), 20–22. (In Russ.)
- Юрова, Е. А., Жижин, Н. А., & Фильчакова, С. А. (2020). Применение молекулярно-генетических методов анализа для идентификации видовой принадлежности сырьевого состава пищевой продукции. *Вестник МГТУ*, 23(3), 214–223. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2020-23-3-214-223>
- Yurova, E. A., Zhizhin, N. A., & Filchakova, S. A. (2020). Application of the PCR analysis method to determine the

- species composition of dairy raw materials. *Vestnik of MSTU*, 23(3), 214–223. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-6-16-25>
- Barłowska, J., Wolanciuk, A., Litwińczuk, Z., & Król, J. (2012). Milk proteins' polymorphism in various species of animals associated with milk production utility. *Milk protein* (pp. 235–264). InTech.
- Caldwell, J. M., Pérez-Díaz, I. M., Sandeep, K. P., Simunovic, J., Harris, K., Osborne, J. A., & Hassan, H. M. (2015). Mitochondrial DNA fragmentation as a molecular tool to monitor thermal processing of plant-derived, low-acid foods, and biomaterials. *Journal of Food Science*, 80(8), 1804–1814. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12937>
- De, S., Brahma, B., Polley, S., Mukherjee, A., Banerjee, D., Gohaina, M., Singha K., Singh R., Datta, T., Goswami, S. L. (2011). Simplex and duplex PCR assays for species specific identification of cattle and buffalo milk and cheese. *Food Control*, 22(5), 690–696. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.09.026>
- Deng, L., Li, A., Gao, Y., Shen, T., Yue, H., Miao, J., Li, R., Yang, J. (2020). Detection of the bovine milk adulterated in camel, horse, and goat milk using duplex PCR. *Food Analytical Methods*, 13, 560–567. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01678-2>
- Galal-Khallaf, A., Hussein, D., & El-Sayed Hassab El-Nabi, S. (2021). Single nucleotide polymorphism-based methodology for authentication of bovine, caprine, ovine, camel, and donkey meat cuts. *Journal of Food Science*, 86(10), 4444–4456. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15885>
- Golinelli, L. P., Carvalho, A. C., Casaes, R. S., Lopes, C. S. C., Deliza, R., Paschoalin, V. M. F., & Silva, J. T. (2014). Sensory analysis and species-specific PCR detect bovine milk adulteration of frescal (fresh) goat cheese. *Journal of Dairy Science*, 97(11), 6693–6699. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7990>
- Guo, L., Qian, J. P., Guo, Y. S., Hai, X., Liu, G. Q., Luo, J. X., & Ya, M. (2018). Simultaneous identification of bovine and equine DNA in milks and dairy products inferred from triplex TaqMan real-time PCR technique. *Journal of Dairy Science*, 101(8), 6776–6786. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14408>
- Handford, C. E., Campbell, K., & Elliott, C. T. (2016). Impacts of milk fraud on food safety and nutrition with special emphasis on developing countries. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 130–142. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12181>
- Hazra, T., Sharma, V., Sharma, R., & Arora, S. (2016). Simplex PCR assay for detection of cow milk presence in goat milk. *Indian Journal of Dairy Science*, 69(5), 621–625.
- Hird, H., Chisholm, J., Sánchez, A., Hernandez, M., Goodier, R., Schneede, K., Boltz, C., Popping, B. (2006). Effect of heat and pressure processing on DNA fragmentation and implications for the detection of meat using a real-time polymerase chain reaction. *Food Additives and Contaminants*, 23(7), 645–650. <https://doi.org/10.1080/02652030600603041>
- Kalle, E., Kubista, M., & Rensing, C. (2014). Multi-template polymerase chain reaction. *Biomolecular Detection and Quantification*, 2, 11–29. <https://doi.org/10.1016/j.bdq.2014.11.002>
- Kourkouli, A., Thomaidis, N., Dasenaki, M., & Markou, A. (2024). Novel and sensitive touchdown polymerase chain reaction assays for the detection of goat and sheep milk adulteration with cow milk. *Molecules*, 29(8), 1820. <https://doi.org/10.3390/molecules29081820>
- Lad, S. S., Aparnathi, K. D., Mehta, B., & Velpula, S. (2017). Goat milk in human nutrition and health – A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1781–1792. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.194>
- López-Calleja, I., González, I., Fajardo, V., Rodríguez, M. A., Hernández, P. E., García, T., & Martín, R. (2004). Rapid detection of cows' milk in sheeps' and goats' milk by a species-specific polymerase chain reaction technique. *Journal of Dairy Science*, 87(9), 2839–2845. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73412-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73412-8)
- Pokorska, J., Kułaj, D., Dusza, M., Żychlińska-Buczek, J., & Makulska, J. (2016). New rapid method of DNA isolation from milk somatic cells. *Animal Biotechnology*, 27(2), 113–117. <https://doi.org/10.1080/10495398.2015.1116446>
- Putri, A. E., Farajallah, A., & Perwitasari, D. (2019). The origin of pesisir cattle based on D-loop mitochondrial DNA. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(9). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200919>
- Rodrigues, N. P. A., Givisiez, P. E. N., Queiroga, R. C. R. E., Azevedo, P. S., Gebreyes, W. A., & Oliveira, C. J. B. (2012). Milk adulteration: Detection of bovine milk in bulk goat milk produced by smallholders in northeastern Brazil by a duplex PCR assay. *Journal of Dairy Science*, 95(5), 2749–2752. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5235>
- Stackebrandt, E. (2009). Phylogeny based on 16S rRNA/DNA. *Encyclopedia of Life Sciences (ELS)*. John Wiley & Sons.
- Tuncay, R. M., & Sancak, Y. C. (2022). Comparison of PCR methods for determination of different types of milk added to goat milk. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11(3), 509–514. <https://doi.org/10.53424/balikesirsbd.1139179>
- Wang, Z., Li, T., Yu, W., Qiao, L., Liu, R., Li, S., Zhao, Y., Yang, S., & Chen, A. (2020). Determination of content of camel milk in adulterated milk samples by normalized real-time polymerase chain reaction system based on single-copy nuclear genes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(8), 3465–3470. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10382>

Влияние условий хранения на цветовой профиль цельного сгущенного молока с сахаром

Е. И. Большакова, И. А. Барковская, А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, Е. С. Орлова

Всероссийский
научно-исследовательский
институт молочной
промышленности, г. Москва,
Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: Расширение логистических путей экспортируемой молочно-консервной продукции в Арктическую зону и районы с жарким климатом актуализирует исследования, направленные на снижение транспортных затрат и сохранение качества молочных консервов в условиях воздействия экстремальных температурных факторов. В данном аспекте цвет продукта является важным органолептическим показателем, формирующим первичное восприятие параметров качества и рассматривается в качестве одного из маркеров активации механизмов порчи цельного сгущенного молока с сахаром (ЦСМС). На сегодняшний день стандартизованные методики оценки органолептических показателей и, в частности, цвета являются качественными и субъективными, что не позволяет достоверно оценить степень цветового различия идентичных по составу пищевых продуктов. В связи с этим оцифровка показателя цвета ЦСМС и сопоставление с изменениями, происходящими в пищевой матрице при воздействии экстремальных температур, является актуальным и своевременным направлением исследований.

Цель: Изучить влияние смоделированных условий транспортирования в диапазоне экстремальных температур от 50°C до минус 50°C и последующего хранения при 5°C, а также эффективности гомогенизации на изменение цвета ЦСМС и ассоциированных с этим процессом физико-химических показателей для расширения допустимых режимов хранения и транспортирования продукции.

Материалы и методы: Объект исследований – ЦСМС от партий с различной эффективностью гомогенизации, подвергнутое хранению при различных температурных условиях. Изменение цвета образцов регистрировали фотофиксацией. Содержание свободных аминокислот определяли методом капиллярного электрофореза. Определение цветового различия, индекса белизны и насыщенности определяли расчётным способом. Определение активной и титруемой кислотности проводили потенциометрическим и титриметрическим методом соответственно. Белковый профиль определяли с помощью электрофореза в полиакриламидном геле.

Результаты: Установлено, что одноступенчатое нагревание до 50°C и хранение при этой температуре в течение 7 и 14 суток вызывает образование высокобелковых агрегатов, изменение содержания свободных аминокислот, pH и потемнение продукта. Выявлено, что многоступенчатые циклы нагревания и замораживания до 50°C и минус 50°C соответственно, как и одноступенчатое замораживание до минус 50°C не оказывают критического влияния на цвет ЦСМС. Обнаружено влияние эффективности гомогенизации на потенциал ЦСМС к потемнению. Результаты анализа кислотности показали, что высокая скорость изменения pH в продукте коррелировала с формированием более темного цвета в продукте в процессе длительного хранения.

Выводы: Полученные данные стали частью научного обоснования разработки новой документации в области стандартизации на ЦСМС, предназначенное для транспортирования в районы Крайнего Севера и регионы с жарким климатом, так как позволили доказать, что многоступенчатый режим изменения температур не вызывает изменения качества продукта.

Ключевые слова: цельное сгущенное молоко с сахаром; цветовой профиль; реакция Майяра, потемнение, цветовое пространство CIELAB

Корреспонденция:

Александр Геннадьевич
Кручинин

E-mail: a_kruchinin@vniimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 03.02.2024

Принята: 15.09.2024

Опубликована: 30.10.2024

Copyright: © 2024 Авторы



Для цитирования: Большакова, Е.И., Барковская, И.А., Кручинин, А.Г., Туровская, С.Н., Илларионова, Е.Е., & Орлова Е.С. (2024). Влияние условий хранения на цветовой профиль цельного сгущенного молока с сахаром. *FOOD METAENGINEERING*, 2(3), 25–40.- <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.62>

The Influence of Storage Conditions on the Color Profile of Sweetened Condensed Whole Milk

E. I. Bolshakova, A.G. Kruchinin, S. N. Turovskaya, E. E. Illarionova, Irina A. Barkovskaya, Elena S. Orlova

All-Russian Scientific Research
Institute of the Dairy Industry,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: The expansion of logistical routes for exported canned dairy products to the Arctic zone and regions with hot climates underscores the need for research aimed at reducing transportation costs and preserving the quality of dairy preserves under extreme temperature conditions. In this regard, product color is an important organoleptic indicator that shapes initial perceptions of quality parameters and is considered one of the markers of spoilage mechanisms in sweetened condensed whole milk (SCWM). Currently, standardized methods for assessing organoleptic indicators, particularly color, are qualitative and subjective, which do not reliably measure the degree of color variation in identical food products. Therefore, digitizing the color indicator of SCWM and correlating it with changes in the food matrix under extreme temperature exposure is a relevant and timely research direction.

Purpose: To study the impact of simulated transport conditions within an extreme temperature range from 50°C to -50°C, and subsequent storage at 5°C, as well as the effectiveness of homogenization on the color of SCWM and associated physicochemical indicators to expand acceptable storage and transport conditions for the product.

Materials and Methods: The study object was SCWM from batches with varying homogenization efficiency, stored under different temperature conditions. Changes in sample color were recorded through photo documentation. The content of free amino acids was determined by capillary electrophoresis. Color difference, whiteness index, and color saturation were calculated. Active and titratable acidity were measured using potentiometric and titrimetric methods, respectively. The protein profile was determined by electrophoresis in polyacrylamide gel.

Results: It was found that a single-stage heating to 50°C and storage at this temperature for 7 and 14 days caused the formation of high-protein aggregates, changes in free amino acid content, pH, and product darkening. Multistage heating and freezing cycles to 50°C and -50°C, as well as single-stage freezing to -50°C, did not critically affect the color of SCWM. The effectiveness of homogenization was found to influence SCWM's susceptibility to darkening. Acidity analysis results showed that a high rate of pH change in the product correlated with the formation of a darker color during prolonged storage.

Conclusion: The obtained data contributed to the scientific basis for developing new standards documentation for SCWM intended for transport to the Far North and hot climate regions, as it was shown that multistage temperature changes do not alter product quality.

Keywords: sweetened condensed whole milk; color profile; Maillard reaction; darkening; CIELAB color space

Correspondence:

Alexander G. Kruchinin

E-mail: a_kruchinin@vniimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 03.02.2024

Accepted: 15.09.2024

Published: 30.10.2024

Copyright: © 2024 The Authors



To cite: Bolshakova, E.I., Barkovskaya, I.A., Kruchinin, A.G., Turovskaya, S.N., Illarionova, E.E., & Orlova, E.S. (2024). The influence of storage conditions on the color profile of sweetened condensed whole milk. FOOD METAENGINEERING, 2(3), 25-04. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.62>

ВВЕДЕНИЕ

Цельное сгущённое молоко с сахаром (ЦСМС) является одним из наиболее востребованных видов молочных консервов благодаря удобству транспортирования, длительному сроку хранения, повышенной пищевой и энергетической ценности (Ефимова и др., 2022; Ryabova и др., 2022). Данная категория молочной продукции пользуется широким спросом у населения, применяется для промышленной переработки в различных отраслях пищевой промышленности (Petrov и др., 2017; Ryabova и др., 2022), а также включена в номенклатурный перечень продовольственного резерва Российской Федерации и в состав продовольственного обеспечения воинских частей (Усов и др., 2016).

В процессе транспортирования ЦСМС внутри страны и за рубеж для поддержания установленных в ТТИ к ГОСТ 31688–2012 допустимых температурных режимов хранения (максимальная температура — 25 °С, минимальная — минус 30 °С) (Рябова и др., 2023), требуется использование специализированного изотермического транспорта. При этом, в условиях сложившейся геополитической ситуации и изменения логистических путей поставок товаров (Барцаев, 2023; Гаврилов и др., 2024) возникает проблема высокой стоимости холодной логистики, снижающая потенциал молочноконсервных предприятий к расширению поля реализации своей продукции. Таким образом, целесообразным является исследование изменения качества ЦСМС в широком температурном диапазоне, что может позволить обосновать новые допустимые условия хранения и/или транспортирования продукта, тем самым повысить экономическую эффективность молочноконсервных предприятий и экспортный потенциал страны, а также обеспечить регионы с ограниченным молочным животноводством доступной, в том числе и в экономическом аспекте, полноценной молочной продукцией. Данное направление исследований также согласуется с задачами государственной политики в области обеспечения населения страны доступной качественной, безопасной пищевой продукции, отраженными в Доктрине продовольственной безопасности РФ, утвержденной Указом Президента от 21.01.2020 г. № 20.

Работы по исследованию влияния повышенных и пониженных температур хранения на физико-химические, микробиологические и органолептические показатели ЦСМС достаточно немногочисленны. Так, Гурьева К. Б. с соавт. (2019) приводят данные о влиянии хранения

ЦСМС при температуре 45 °С в течение трех месяцев на изменение вкуса и запаха продукта, титруемой кислотности и вязкости. Помимо этого, отмечено незначительное увеличение массовой доли ненасыщенных жирных кислот, а именно олеиновой кислоты на 28 %, снижение индекса насыщенности жирных кислот с 1,96 до 1,79–1,82, что может свидетельствовать о протекании процессов окисления и прогоркания. Рябова и соавт. (2023; 2022) приводят анализ моделирования воздействия колебаний отрицательных температур (с замораживанием до минус 95 °С) на состояние ЦСМС и его модельных систем-аналогов различной концентрации (сахарных, сахарно-молочных, молочных) с изучением фазовых переходов методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Авторами проанализированы и выбраны три температурные программы, различающиеся циклами нагревания/охлаждения при различных скоростях и значениях. Установлено, что продукт температурой 20 °С после циклического температурного воздействия ((–95 °С)→(–35 °С)→(–75 °С)→(+30 °С)) характеризовался криоскопической температурой минус 32,2 ± 0,2 °С, температурой стеклования минус 47,3 °С, энтальпией плавления — 20,5 Дж/г. При этом 6,1 % массовой доли влаги перешло в замороженное состояние. Несмотря на то, что качество продукта объединяет ряд свойств и показателей (Туровская и др., 2018), изменение его вкуса, запаха, консистенции и цвета — первичные индикаторы, которые свидетельствуют о порче ЦСМС.

Изменение цвета сгущенного молока может происходить под воздействием повышенных температур в результате белково-углеводного взаимодействия и образования вкусо-ароматических окрашенных соединений, обуславливающих потемнение продукта (реакция Майяра) (Van den Oever и др., 2021; Xiang и др., 2021). Помимо условий хранения и транспортирования, технологические факторы так же могут оказывать влияние на скорость изменений цветности продукта. Так, известно, что изменение активной кислотности системы стимулирует реакцию Майяра, ускоряя процесс меланоидинообразования. Кроме того, исследованиями (Shao и др., 2023; Tribst и др., 2020) установлено влияние эффективности гомогенизации на скорость и степень изменения цвета молочного матрикса. Авторы работы (Shao и др., 2023) сообщают об обратно пропорциональной зависимости эффективности гомогенизации и изменения цветовых характеристик пастеризованного молока, объясняя данную особенность влиянием

Е. И. Большакова, И. А. Барковская, А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, Е. С. Орлова

размера частиц эмульсии на способность отражать свет. При этом, следует обратить внимание на недостаток общепринятых методик оценки органолептических показателей пищевой продукции, заключающийся в невозможности достоверной оценки степени цветового различия идентичных по составу пищевых продуктов, поскольку применяемые методики являются качественными. Для количественной оценки цветового различия в научных исследованиях применяют систему на основе цветового пространства Lab, позволяющую оцифровать показатель цвета продукта, повышая точность проводимых исследований (Al-Hilphy и др., 2022). Подобного рода эксперименты еще не были проведены для ЦСМС, в связи с чем в данном исследовании, помимо изучения влияния посттехнологических факторов (расширенного диапазона температур хранения), было также определено влияние технологических факторов, таких как режим гомогенизации, на качественные характеристики продукта.

Целью данного исследования являлось изучение влияния смоделированных условий транспортирования в диапазоне температур от 50 °С до минус 50 °С и последующего хранения при 5 °С, а также значимого технологического фактора формирования качества — эффективности гомогенизации на изменение цвета ЦСМС, являющегося одним из первичных индикаторов порчи, а также ассоциированных с этим процессом показателей (кислотности, содержания свободных аминокислот и белкового профиля).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объектом исследований являлось ЦСМС от партий с различной эффективностью гомогенизации (партии №I и №II), произведенное на молочноконсервном предприятии ООО «Промконсервы» и подвергнутое хранению при различных температурных условиях в соответствии с планом эксперимента. Различная эффективность гомогенизации в образцах достигалась применением двух режимов гомогенизации при производстве на первой ступени — 7–10 МПа и 15 МПа. Давление на второй ступени в обоих случаях совпадало и составляло 3 МПа. В Таблице 1 представлены усредненные физико-химические показатели ЦСМС, выработанного для проведения данного исследования.

Таблица 1
Усредненные физико-химические показатели свежеработанного цельного сгущенного молока с сахаром

Table 1
Average Physicochemical Indicators of Freshly Produced Sweetened Condensed Whole Milk

Наименование показателя	Значение	
	Партии №I	Партии №II
Массовая доля влаги, %	25,8 ± 0,6	26,0 ± 0,4
Массовая доля сахарозы, %	45,3 ± 0,2	45,0 ± 0,1
Массовая доля жира, %	8,7 ± 0,2	8,8 ± 0,2
Массовая доля белка, %	7,6 ± 0,1	8,2 ± 0,1
Кислотность, °Т	35 ± 1	41 ± 2
Вязкость, Па·с	7,6 ± 0,7	8,4 ± 0,2
Размеры кристаллов молочного сахара, мкм	3,5 ± 0,3	3,5 ± 0,3
Эффективность гомогенизации (ЭГ)		
Степень гомогенизации, %	23	46
Средний размер жировых шариков, мкм	3,4 ± 0,3	2,3 ± 0,1

Дизайн исследования

Исследование заключалось в проведении двух последовательных этапов. На первом этапе была произведена оценка изменения свойств ЦСМС после воздействия варьируемых экстремальных температур хранения в диапазоне от минус 50 °С до 50 °С. Дизайн исследования включал 5 вариантов условий хранения: К, А, Б, В и Г. Описание вариантов условий хранения представлено в таблице 2.

Съем образцов для анализов производился в точках контроля в соответствии с графиком в установленный срок после заданного теплового воздействия (температура, продолжительность). Точки контроля были разделены на две группы: основные и дополнительные. Буквенные обозначения К, А, Б, В, Г в кодификации образцов характеризовали вариант условий хранения, нумерация — последовательность точек контроля, обозначение «Д» подразумевало, что точка контроля, в которой производился съем образцов — дополнительная. Различия образцов по № партий были отражены в кодификации римской цифрой (I или II). Первый этап исследования проводили в соответствии с графиком, представленным на рисунке 1.

Е. И. Большакова, И. А. Барковская, А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, Е. С. Орлова

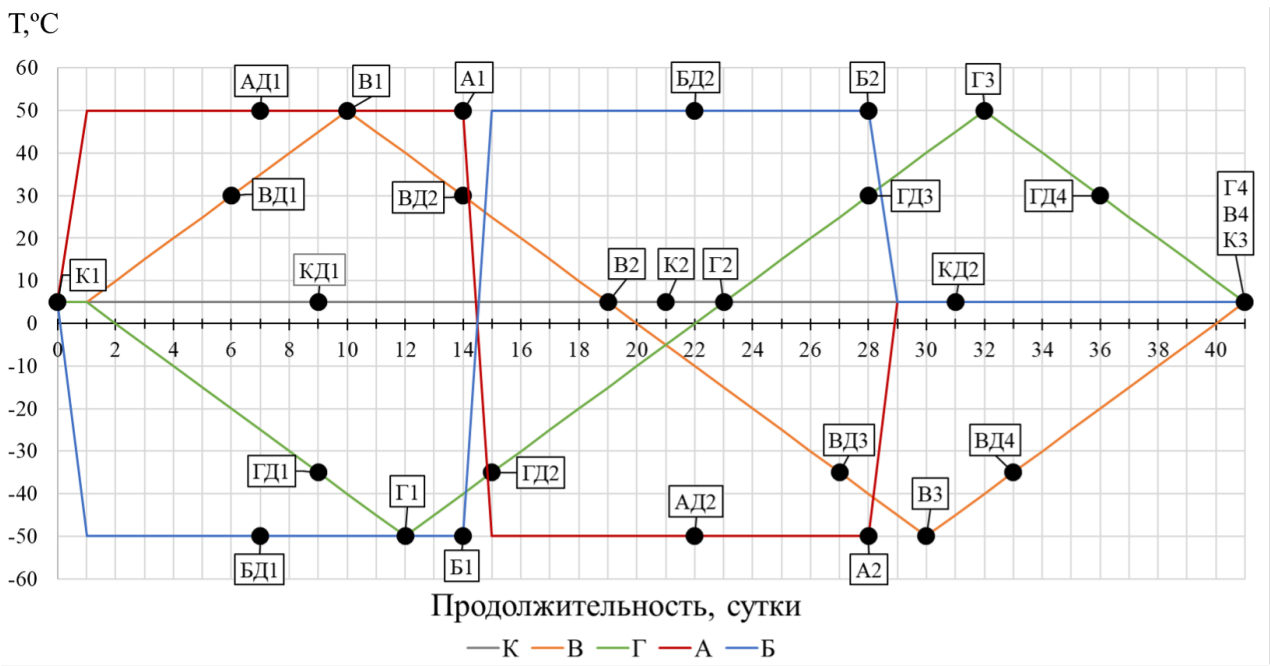
Таблица 2
Описание вариантов условий хранения

Table 2
Description of Storage Condition Variants

Характеристики вариантов условий хранения	Обозначения вариантов условий хранения				
	К	А	Б	В	Г
Температура хранения	const, $t_{\text{в}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Изменяется в диапазоне $t_{\text{в}}$ от минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$			
Режим изменения температуры	—	Одноступенчатый	Многоступенчатый		
		$t_{\text{в}} = \text{const}$, в начальной точке процесса значение температуры окружающего воздуха является максимальным ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$) или минимальным (минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) в зависимости от типа теплового воздействия.	$t_{\text{в}} = t_{\text{н}} + 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, значение температуры окружающего воздуха изменяется на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ /сутки до достижения максимального ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$) или минимального значения температуры (минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$).		
Цикличность	—	Двухцикловая структура			
Вид циклов (1-прямой; 2-обратный)	—	1. Нагревание до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2. Замораживание до минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$	1. Замораживание до минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2. Нагревание до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$	1. Нагревание до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2. Замораживание до минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$	1. Замораживание до минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2. Нагревание до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$
Примечание. $t_{\text{в}}$ — температура окружающего воздуха, $t_{\text{н}}$ — температура продукта.					

Рисунок 1
График хранения образцов ЦСМС

Figure 1
Storage Timeline of SCWM Samples



Второй этап исследования предполагал хранении всех образцов при температуре $5 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 12 месяцев и исследовании изменения свойств ЦСМС в ежемесячных точках контроля.

Инструменты и методы

Фотофиксация изменения цвета

Изменение цвета образцов регистрировали путем фотографирования с помощью 12 МП камеры смартфона Samsung Galaxy Z Flip4 (Samsung, Suwon, South Korea) и светонепроницаемой станции визуализации системы гелевой документации «View» (Хеликон, Россия). Образец располагали на равном расстоянии от сторон светонепроницаемой станции визуализации. Фотографии делали со вспышкой, что обеспечивало единство измерений в части светового потока.

Определение содержания свободных аминокислот

Содержание свободных аминокислот (САК) определяли методом капиллярного электрофореза с использованием системы «КАПЕЛЬ» (Люмэкс, Санкт-Петербург, Россия) без проведения гидролиза. В качестве фонового электролита использовали фосфат с добавлением бета-циклодекстрина. Разделение свободных аминокислот проводили при 25 кВ при 30 °С при длине волны 254 нм. Содержание свободного триптофана определяли напрямую, а содержание других аминокислот через их фенилтиокарбамильные производные.

Определение цветового различия, индекса белизны и индекса насыщенности

Определение цветового различия, индекса белизны и насыщенности определяли расчётным способом по данным CIELAB, полученным с помощью фотофиксации и анализа посредством ПО ColorMeter (White Marten GmbH, Baden-Württemberg, Germany). Расчет цветового различия (ΔE) производили по формуле (1):

$$\Delta E = \sqrt{(L_K - L_H)^2 + (a_K - a_H)^2 + (b_K - b_H)^2}, \quad (1)$$

где L_K — значение L по системе Lab для конечного образца, L_H — значение L по системе Lab для начального образца, a_K — значение по системе LAB для конечного образца, a_H — значение по системе LAB для начального образца, b_K — значение по системе LAB для конечного образца, b_H — значение по системе LAB для начального образца.

Расчет индекса белизны (WI) производили по формуле (2):

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}, \quad (2)$$

где L, a, b — соответствующие значения образцов по системе Lab.

Расчет насыщенности (Ch) производили по формуле (3):

$$Ch = ((a)^2 + (b)^2)^{0.5} \quad (3)$$

где a, b — соответствующие значения образцов по системе Lab.

Определение кислотности и pH

Определение титруемой кислотности проводили титриметрическим методом в соответствии с ГОСТ 30305.3–95. Определение pH проводили потенциометрическим методом в соответствии с ГОСТ 32892–2014.

Электрофоретическое разделение белков

Качественное определение состава белков проводили с помощью диск-электрофореза в полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия по методике Лэммли в вертикальной камере Mini-PROTEAN® Tetra Cell (Bio-Rad, Калифорния, США).

Обработка полученных данных

Статистический анализ экспериментальных данных проводили с применением однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и апостериорного теста Тьюки с использованием пакета статистических программ RStudio (Posit Software, Массачусетс, США). Все показатели анализировали в 3–5 повторностях. Для множественных сравнений применяли тест Тьюки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Целью данного исследования являлось изучение влияния условий хранения на изменение цвета ЦСМС и ассоциированных с этим процессом показателей (кислотности, содержания свободных аминокислот и белкового профиля). Дизайн эксперимента включал два этапа, соответственно результаты работы разделены на блоки: исследование ЦСМС при экстремальных температурных условиях хранения и в процессе длительного хранения.

Исследование ЦСМС при экстремальных температурных условиях хранения

Изменение цвета

В течение первого этапа эксперимента с помощью фотофиксации для образцов была сформирована цветовая палитра, которая изменялась к концу хранения при экстремальных температурных условиях (Рисунок 2–4).

Степень изменения цвета образцов зависела от варианта условий хранения и эффективности гомогениза-

Е. И. Большакова, И. А. Барковская, А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, Е. С. Орлова

Рисунок 2

Изменение цвета в образцах А и Б

Figure 2

Color Change in Samples A and B



Рисунок 3

Изменение цвета в образцах В

Figure 3

Color Change in Sample C

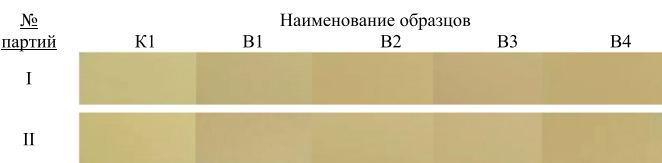
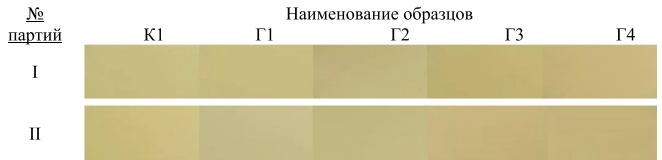


Рисунок 4

Изменение цвета в образцах Г

Figure 4

Color Change in Sample D



ции ЦСМС. Отмечено, что одноступенчатое нагревание до 50 °С вызывает образование коричневого и темно-коричневого цвета в образцах ЦСМС А1, А2, Б1 и Б2 (Рисунок 2). Обнаружен более темный оттенок коричневого в образце II-A2 в сравнении с I-A2 после последовательных циклов одноступенчатого нагревания до 50 °С и замораживания до минус 50 °С с периодом хранения 14 суток. Это согласуется с данными, представленными в работе Tribst и др. (2020), которые исследовали влияние различных физических процессов (перемешивания, диспергирования и гомогенизации при 3,5 МПа и 50 МПа) на изменение цвета образцов свежего, замороженного до минус 18 °С в течение месяца и размороженного при 7 °С овечьего молока. Исследователи установили, что более высокое давление гомогенизации вызывало увеличение цветового различия в образцах как свежего, так и замороженного/размороженного молока.

Исследуя влияние способов размораживания (на воздухе при 20 °С; потоком воды 20 °С; в микроволновой

печи; в поле ультразвука) на изменение свойств замороженного концентрированного молока, ученые выяснили, что наибольшим значением цветового различия обладало концентрированное молоко, размороженное на воздухе при наименьшей скорости (Chen и др., 2021). Авторы подчеркнули, что несмотря на статистическую значимость полученных результатов, цветовой профиль образцов, размороженных различными способами был схож. Данный эффект также наблюдается и для ЦСМС, так как визуальная оценка цвета образцов Б1 и Г2 значительно не отличалась, но при этом скорость размораживания в данных образцах была различной (Рисунок 2,4). Вероятно, это связано с лишь незначительным изменением белковых частиц или жировых шариков, которые обуславливают цвет молока, отражая свет. Помимо цветовых характеристик Chen и др. (2021) исследовали изменение pH, которое находилось в диапазоне от 6,56 до 6,59, что свидетельствует об отсутствии влияния способов размораживания на скорость протекания физико-химических процессов. Это соответствует полученным результатам для образцов ЦСМС Г2 и Б1, кислотность которых не отличалась (Таблица 3).

Таблица 3

Изменение кислотности в образцах ЦСМС
после основных циклов теплового воздействия

Table 3

Acidity Changes in SCWM Samples After Primary Thermal
Exposure Cycles

Образец	Титруемая кислотность, °Т		Активная кислотность, pH	
	I	II	I	II
К				
К	35 ± 1b	41 ± 2c	6,70 ± 0,07a	6,36 ± 0,03ab
К3	34 ± 1b	40 ± 3c	6,63 ± 0,02ab	6,40 ± 0,10a
А				
А1	56 ± 3a	55 ± 2b	6,17 ± 0,06c	6,15 ± 0,10b
А2	56 ± 2a	69 ± 2a	6,19 ± 0,02c	5,79 ± 0,06c
Б				
Б1	36 ± 1b	41 ± 1c	6,59 ± 0,02ab	6,38 ± 0,14a
Б2	57 ± 3a	64 ± 2a	6,10 ± 0,09c	5,93 ± 0,09c
В				
В2	36 ± 1b	42 ± 2c	6,58 ± 0,02ab	6,36 ± 0,01ab
В4	36 ± 1b	41 ± 2c	6,56 ± 0,02b	6,35 ± 0,01ab
Г				
Г2	36 ± 3b	44 ± 1c	6,54 ± 0,02b	6,38 ± 0,01a
Г4	34 ± 3b	42 ± 1c	6,58 ± 0,02ab	6,36 ± 0,06ab

Примечание. а-с Достоверные (P < 0,05) различия помечены строчными буквами.

Note. Significant differences (P < 0.05) are indicated by lowercase letters a-c.

Химические реакции в молоке подчиняются закону Аррениуса, согласно которому повышение температуры приводит к увеличению констант скорости реакций (Halabi и др., 2020), однако степень термоиндуцированных изменений в системе также зависит от скорости изменения температуры (Sahu & Kumar Mallikarjunan, 2016; Anema, 2020). В связи с этим очевидно, что одноступенчатое нагревание до 50°C с хранением до 14 суток, которое было предусмотрено в образцах А1 и Б2 привело к критическим изменениям кислотности (повышение титруемой кислотности на $14 \pm 23^\circ\text{T}$ и снижение pH на $0,21 \pm 0,53$ в сравнении с К), что свидетельствует об активации и протекании физико-химических процессов в системе. Данное не наблюдается для образцов В и Г, что позволяет судить о том, что многоступенчатое нагревание и замораживание, а также их последовательные циклы гарантируют сохранение качества ЦСМС.

Согласно Anema (2020) при постепенном повышении температуры молока до 70°C большая часть денатури-

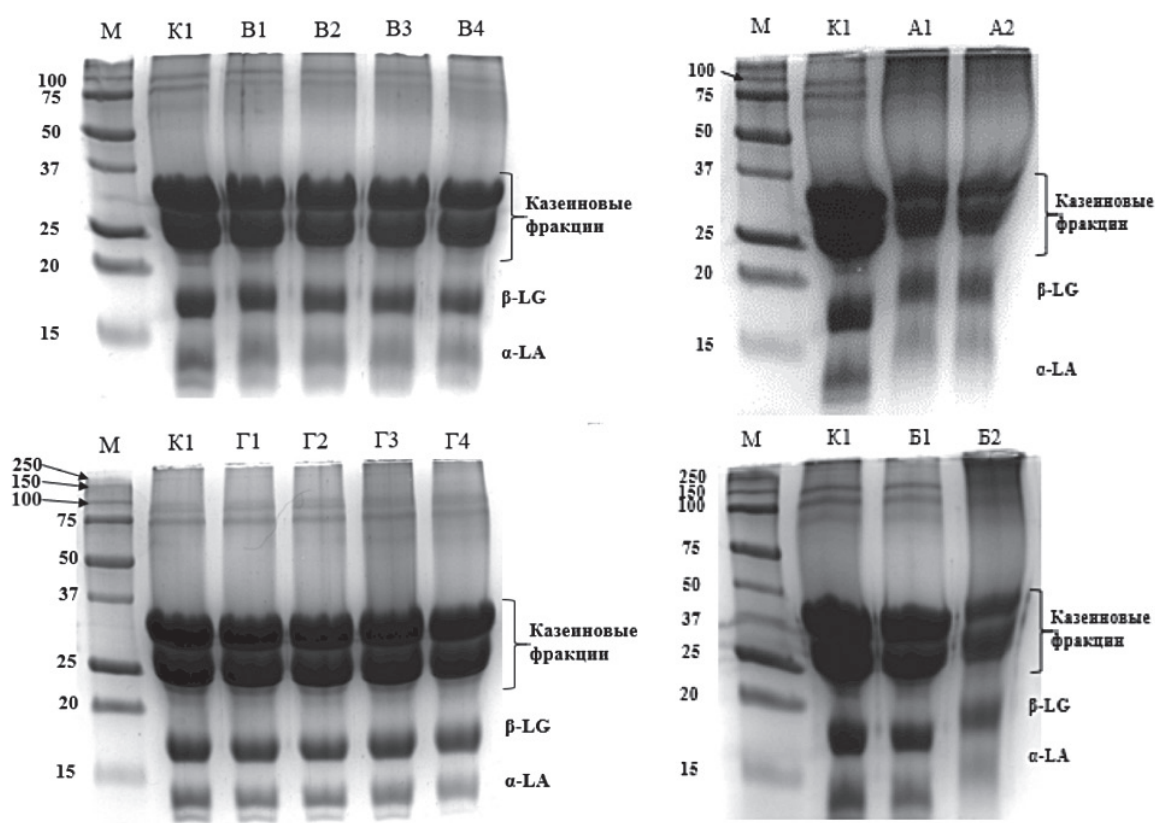
рованного β -LG и α -LA связывается с к-казеином предположительно посредством дисульфидных связей на поверхности мицелл, а при быстром нагревании только половина денатурированных сывороточных белков образует комплексы с казеином, остальная часть остается в растворенной фазе или участвует в процессе агрегации между собой. В нашем исследовании по результатам электрофоретического анализа детектировано снижение содержания сывороточных белков (β -LG, α -LA) и казеина после одноступенчатого нагревания и замораживания, а также образование высокомолекулярных агрегатов (Рисунок 5). Идентичные результаты были получены Мейер и др. (2011) при нагревании молока до 120°C в течение 60 минут. В проведенном исследовании ученые также обнаружили в составе высокомолекулярной фракции карбоксиметиллизин — продукт реакции гликирования белков. В свою очередь Jongberg и др. (2012) изучая вопрос гликирования β -LG в сухой модельной молочной системе установили, что выдержка образца при 60°C в течение 60 минут способна привести

Рисунок 5

Электрофореграммы образцов ЦСМС партий № I

Figure 5

Electrophoregrams of SCWM Samples from Batch No. I



к сдвигу полосы β -LG в сторону большей молекулярной массы на электрофореграмме. Подобное отмечено в работе Liu и др. (2012) и также можно наблюдать в образцах ЦСМС А1, А2 и Б2 после одноступенчатого нагревания с хранением до 14 суток (Рисунок 5).

Liu и др. (2012) при систематизации данных в аспекте гликирования β -LG зафиксировали, что образование высокомолекулярных гликопротеинов зависит от условий хранения молочной системы (температура, pH, продолжительность выдержки) и ее состава, особенно углеводного. Авторами представлены данные о том, что связывание β -LG с глюкозой приводит к образованию большего количества тетрамеров и октамеров, при этом β -LG модифицированный лактозой вызывал увеличение процента содержания октамеров. Вероятно, по данной причине в образцах А1, А2 и Б2 можно наблюдать интенсивные полосы в зоне высоких молекулярных масс, так как ЦСМС богато сахарозой, одним из мономеров которой является глюкоза, и содержит около 12,5 % лактозы. Образование агрегатов с высокой молекулярной массой в молочной системе может быть связано как с формированием продуктов гликирования, приводящим к изменению цвета в образцах А1, А2 и Б2, так и образованием белковых ассоциатов, которые из-за потери

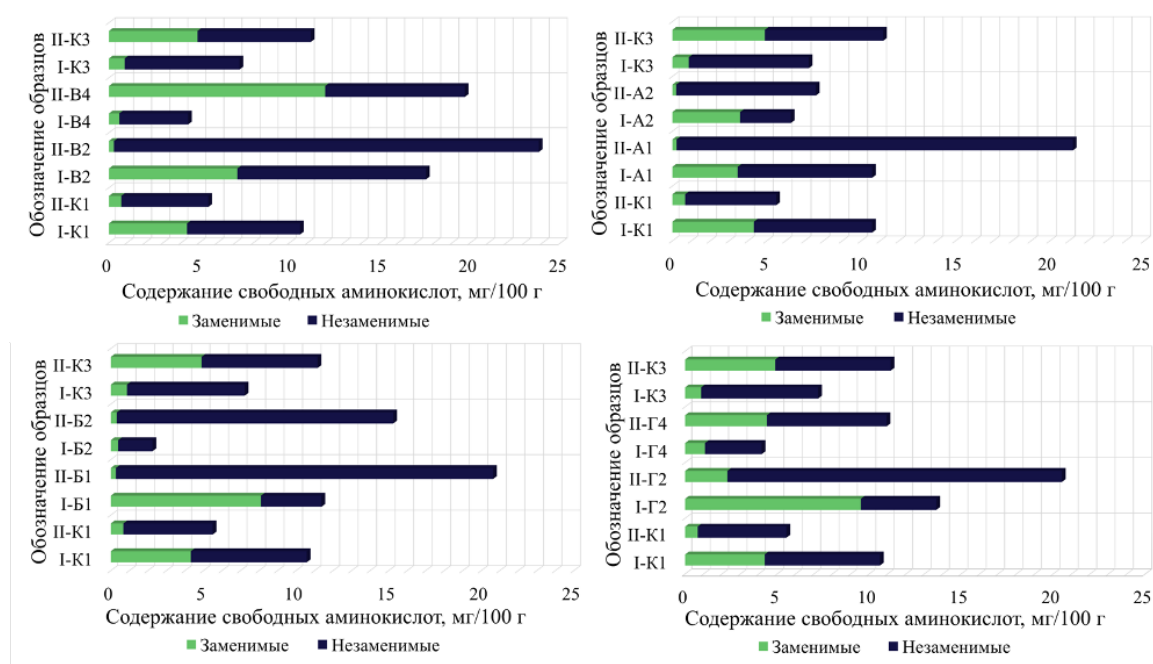
заряда не подвергаются разделению. Sharma и др. (2021) в работе по сравнению методов электрофоретического разделения молочных белков, также подчеркивают, что при проведении электрофореза в денатурирующих условиях с додецилсульфатом в зоне высоких молекулярных масс могут скапливаться агрегаты казеина, неспособные мигрировать в гель. Аналогичные наблюдения представлены в работах (Gazi и др., 2022; Jean и др., 2006; Considine и др., 2007). Также Considine и др. (2007) в обзоре отмечают, что при термической обработке происходит экспозиция ранее скрытых гидрофобных групп аминокислот, которые может привести к инициированию агрегации белков или образованию свободных аминокислот (САК). Fox и др. (2015) сообщают об экспозиции аминокислот и их активации в результате денатурации белков оболочек жировых шариков. Далее эти аминокислоты могут вступать в реакцию образования вкусоароматических веществ или продуктов гликирования. Анализ изменения содержания САК в исследуемом ЦСМС после воздействия экстремальных температурных условий позволил выявить изменения содержания заменимых САК (в основном глутамина и глутаминовой кислоты) в образцах партий №I, а в образцах партий №II — незаменимых (в основном метионина) (Рисунок 6).

Рисунок 6

Изменение содержания свободных аминокислот

Figure 6

Changes in Free Amino Acid Content



Установлена тенденция увеличения содержания свободных аминокислот в образцах партий №I и №II: A1, B1, B2, Г2 и снижения в образцах A2, B2, B4, Г4 партий №I и №II. Bottirolì и др. (2021) исследуя изменения содержания САК в безлактозном молоке ультравысокой тепловой обработки в процессе хранения при различных температурах (4 °C, 20 °C, 30 °C и 40 °C) обнаружили самые высокие уровни содержания для глутаминовой, аспарагиновой кислот и алифатических аминокислот. Увеличение содержания аминокислот в наибольшей степени исследователями было отмечено для молока, хранившегося при температуре ≥ 30 °C. Превалирующий вклад в увеличение концентрации САК внесла именно глутаминовая кислота, что коррелирует с данными, полученными для образцов ЦСМС партий №1. В работе Bottirolì и др. (2021) этот эффект связывают со специфичностью ферментов, обладающих протеолитической активностью, присутствующих в молочной системе. Meltretter и др. (2008) в аспекте изменений метионина и глутаминовой кислоты подчеркивают, что образование карбоксиметиллизина, сульфоксида метионина, циклизация N-концевой глутаминовой кислоты определяются как основные термоиндуцированные изменения в молочной системе, связанные с аминокислотами. Jansson и др. (2020) отмечают, что тепловая денатурация β -LG приводит к высвобождению серосодержащих аминокислот, в том числе и метионина. Согласно Augustin и др. (2007) чем выше давление гомогенизации, тем ниже термостабильность молочной системы после обработки, вероятно по данной причине в образцах партий №II с большей ЭГ в основном изменения содержания свободных аминокислот наблюдаются за счет содержания метионина, который мог высвободиться в результате денатурации β -LG. Зависимость денатурации сывороточных белков от проведения гомогенизации также описывают García-Risco и др. (2002). Авторы также установили, что в цельном молоке, гомогенизированном при 20 МПа, ферментативная деградация α_{s1} -CN и β -CN меньше в среднем на 75,5 %. Казеины — белки, богатые глутаминовой кислотой и глутамином, вероятно с их ферментативной деградацией могут быть связаны изменения содержания глутаминовой кислоты и глутамина в образцах ЦСМС партий №I с меньшей ЭГ. Другим возможным механизмом изменения содержания свободных глутамин и глутаминовой кислоты является — вступление в реакцию Майяра и образование первичных нестабильных продуктов реакции, которые распадаясь могли влиять на повышение концентрации аминокислот (Adrian, 2019).

Исследование ЦСМС в процессе длительного хранения

В процессе длительного хранения образцов ЦСМС был произведен анализ изменения цветовых характеристик продукта. На Рисунке 7 представлены данные о цветовом различии.

В соответствии с результатами анализа цветового различия образцов очевидно отсутствие значимых различий между образцами I-K и II-K. Для образцов I-B и I-Г отмечается меньший разброс данных и большая концентрация значений цветового различия выше или в зоне верхних квартилей наборов данных образцов II-B и II-Г. Этот факт указывает на определенную стабильность цвета образцов I-B и I-Г, но при этом их больший потенциал к потемнению в сравнении с образцами II-B и II-Г. Аналогичный эффект получен в работе китайских исследователей Shao и др. (2023), которые изучили влияние давления гомогенизации на изменения цветовых характеристик пастеризованного молока в процессе хранения. Согласно их результатам наименьшим изменением цветового различия после хранения в течение 1 и 7 суток характеризовались образцы, подвергнутые гомогенизации при самом высоком давлении 30 МПа. Авторы объясняют это тем, что размер частиц эмульсии влияет на отражательную способность света и соответственно цвет молока.

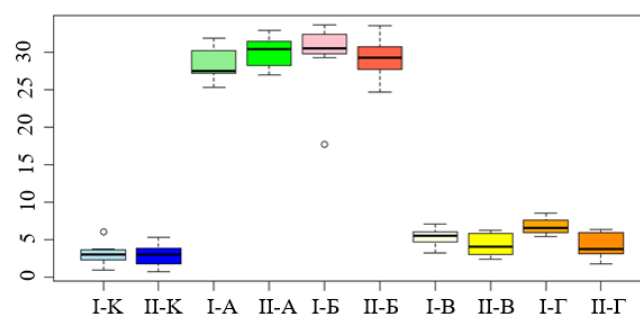
Значения цветового различия в образцах А и Б партий №I и №II (24÷34) оказались значительно больше в сравнении с образцами К, В и Г (1÷9) в течение всего срока хранения. Это указывает на сохранение тенденции, отмеченной для образцов ЦСМС после хранения в экс-

Рисунок 7

Изменение цветового различия

Figure 7

Changes in Color Difference



тремальных температурных условиях. Скорость нагревания и продолжительность хранения при высокой температуре, которые были наибольшими для образцов А и Б, определили высокую степень изменения составных компонентов молочной системы, что согласуется с результатами работ (Oldfield и др., 2005; Manzo и др., 2015). При оценке предельных значений цветового различия в образцах А и Б партий №I и №II выявлено, что ЭГ или последовательность циклов нагревания/замораживания оказывает незначительное влияние в процессе всего 12-месячного эксперимента, так как в обоих вариантах условий хранения был запущен процесс меланоидинообразования и на протяжении 14 суток поддерживались оптимальные условия для его развития. В образцах А и Б на каждом отдельном этапе хранения вероятно были образованы ранние, промежуточные и конечные продукты гликирования в различных концентрациях с отличной химической структурой и свойствами, которые после понижения температуры до 5 °С могли обладать как потенциалом, так и ограниченными возможностями для дальнейших преобразований в коричневые пигменты. Данная гипотеза находит тео-

ретическое подтверждение в работе Van Boekel (2001), который подчеркивает, что каждый из этапов реакции Майяра имеет разную чувствительность к температуре, от температуры зависит преобладающий путь реакции и активность реагентов. Это может являться причиной нивелирования влияния различий вариантов условий хранения и режимов гомогенизации ЦСМС на конечное формирование цвета в продукте.

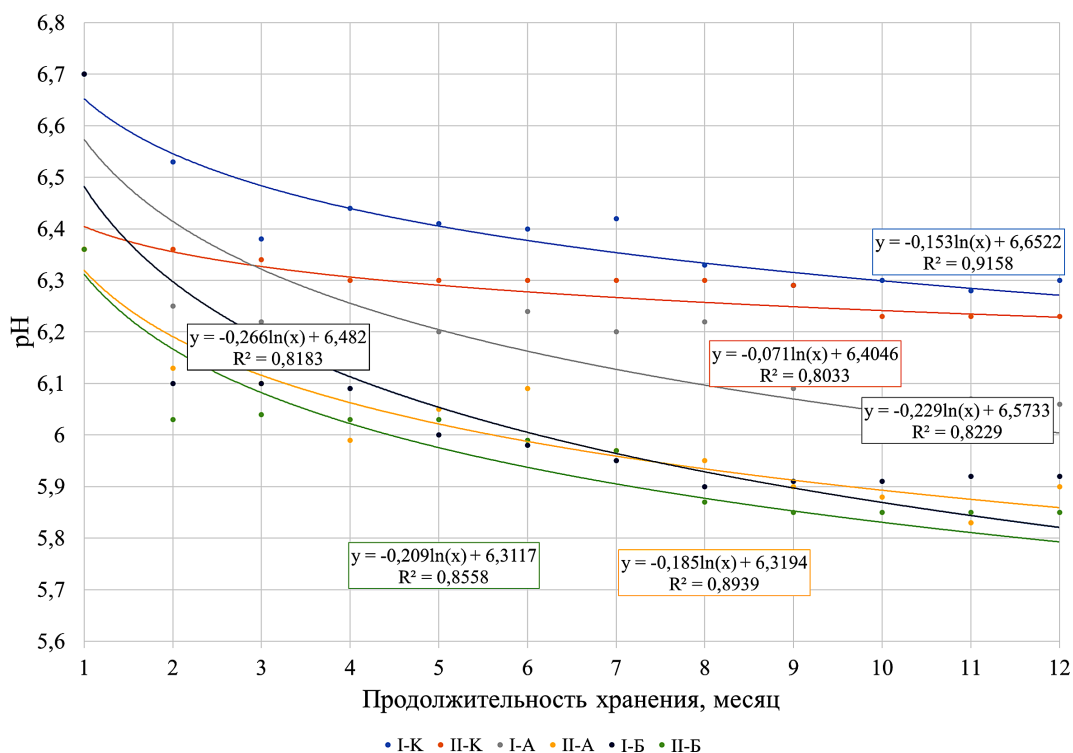
Несмотря на то, что к концу эксперимента варианты условий хранения А и Б приводят к схожим предельным значениям цветового различия (33–34), образцы I-Б характеризуется наименьшим разбросом данных, находящимся в основном в зонах верхних квартилей данных образцов I-A, II-A, II-Б. Это указывает на то, что наибольшее влияние на первичное изменение цвета в ЦСМС оказывает совокупность более низкого значения ЭГ и варианта условий хранения, предусматривающего первичное замораживание перед нагреванием. Стимулирующее влияние предварительного замораживания до минус 50 °С перед нагреванием до 50 °С на потемнение в образцах I-Б возможно сопряжено с тем, что ско-

Рисунок 8

Изменение pH в образцах А и Б в процессе длительного хранения

Figure 8

pH Changes in Samples A and B During Prolonged Storage



рость изменения pH в образцах I-B была выше относительно образцов I-A, II-A и II-B (Рисунок 8). Liu и др. (2008) в работе по изучению кинетики изменения цвета на модельных системах галактозы и глицина отметили линейную зависимость изменения pH от продолжительности нагревания и логарифмическую зависимость pH от температуры. Ученые подчеркивают, что исходное значение pH в системе существенно влияет на протекание реакции Майяра. Аналогичные наблюдения зафиксированы в работах (Van Boekel и Berg, 2005; Stojanovska и др., 2017). Liu и др. (2008) представляют данные о влиянии снижения pH, которое индуцировано взаимодействием сахаров с аминокислотами в процессе протекания реакции Майяра, на замедление потемнения в белково-углеводной системе. Учитывая, что в образцах I-B скорость изменения pH была наибольшей, можно выдвинуть предположение о высокой скорости образования продуктов гликирования.

Согласно Pathania и др. (2019), Alinovi и др. (2020) процессы замораживания/размораживания могут стать причиной изменения физико-химических свойств белков, а вследствие и их функциональности, что способно привести к их частичной денатурации в молочной матрице. Частичная денатурация белков заключается в изменении структуры, а соответственно приводит к экспонированию аминокислот, которые до теплового воздействия были скрыты для взаимодействия. Вероятно, в связи с тем, что в образцах I-B ЭГ была ниже, процесс замораживания/размораживания мог привести к большим изменениям составных компонентов,

что стало причиной более быстрого развития потемнения ЦСМС и ассоциированных с этим реакций.

Результаты изменения индекса белизны и насыщенности подтверждают выводы, сделанные по данным индекса цветового различия (Рисунок 9, 10).

Межквартильные диапазоны данных по индексу белизны образцов I-B и I-Г, равные $59 \div 60$ и $58 \div 59$ соответственно, находятся в зоне медианного значения межквартильных диапазонов II-B и II-Г или ниже ($\leq 59-60$), что также указывает на их больший потенциал к потемнению (Рисунок 9). Согласно наборам данных для образцов А и Б партий №I и №II по медианному значению индекса белизны ($40 \div 41$) образцы I-A, II-A и II-B характеризуются, как схожие, но отличаются от более низкого медианного значения образцов I-B (38). При этом, отмечено, что практически весь набор данных образцов I-B ($32 \div 40$) находится ниже медианного значения, индекса белизны образцов II-B, равного 40, что характеризует образцы I-B как менее белые. Значения индекса белизны в межквартильном диапазоне образцов II-K составляют $61 \div 62$ и находятся в зоне выше верхнего квартиля данных образцов I-K ($60 \div 61$), что свидетельствует о том, что образцы партий №II на протяжении 12-ти месячного хранения были более белые. Оценка изменения насыщенности цвета образцов позволила выявить, что насыщенность была в среднем выше для образцов I-K в сравнении с образцами II-K; для образцов I-B и I-Г в сравнении с II-B и II-Г, что подтверждает общую гипотезу о том, что эффективность гомогенизации ЦСМС влияет на потенциал молочной системы к потемнению.

Рисунок 9

Зависимость индекса белизны ЦСМС от режима хранения и эффективности гомогенизации

Figure 9

Dependence of SCWM Whiteness Index on Storage Conditions and Homogenization Efficiency

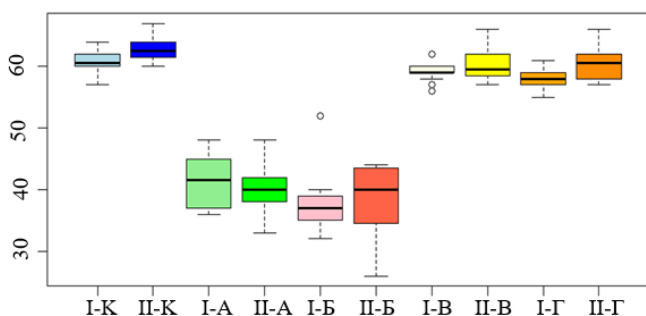
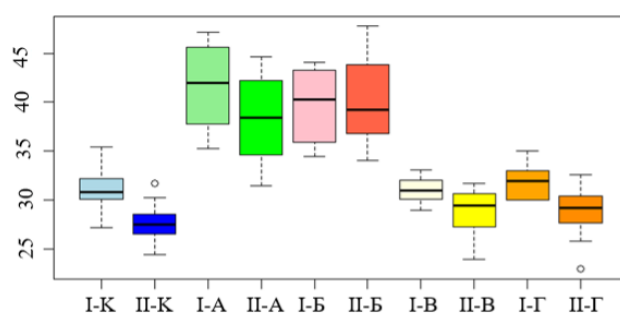


Рисунок 10

Зависимость насыщенности цвета ЦСМС от режима хранения и эффективности гомогенизации

Figure 10

Dependence of SCWM Color Saturation on Storage Conditions and Homogenization Efficiency



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучено влияние варьируемых экстремальных условий хранения на изменение цвета и, ассоциированных с этим процессом, свойств цельного сгущенного молока с сахаром с высокой и низкой эффективностью гомогенизации. Выявлено, что одноступенчатое нагревание до 50°C и хранение при этой температуре в течение 7 и 14 суток вызывает необратимые изменения молочной матрицы, а именно образование высокобелковых агрегатов, изменение содержания САК, pH и потемнение продукта. Установлено, что многоступенчатые циклы нагревания и замораживания до 50°C и минус 50°C соответственно, как и одноступенчатое замораживание до минус 50°C не оказывают критического влияния на цвет цельного сгущенного молока с сахаром.

Обнаружено влияние эффективности гомогенизации на потенциал цельного сгущенного молока с сахаром к потемнению. Продукт с более низким значением показателя приводит к большему значению цветового различия и меньшему индексу белизны в процессе длительного хранения после воздействия экстремальных температур. Результаты анализа кислотности показали, что высокая скорость изменения pH в продукте коррелировала с формированием более темного цвета в продукте в процессе длительного хранения.

Полученные данные стали частью научного обоснования разработки новой документации в области стандартизации на цельное сгущенное молоко с сахаром, предназначенное для транспортирования в районы Крайнего Севера и регионы с жарким климатом. Результаты проведенных исследований ограничены использованием в качестве объекта исследований ЦМСМ, выработанного по ГОСТ 31688–2012 и упакованного в жестяные консервные банки №7 со стандартной крышкой. Дальнейшим развитием данного направления исследований представляется разработка стандартизованных методов количественной оценки цветового различия на основе цветового пространства CIE Lab, позволяющего оцифровать показатель цвета продукта, повысить точность контроля показателя.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Екатерина Ивановна Большакова: проведение исследования, методология, создание черновика рукописи, создание рукописи и ее редактирование, визуализация, администрирование данных, администрирование проекта, формальный анализ.

Ирина Александровна Барковская: проведение исследования, визуализация.

Александр Геннадьевич Кручинин: методология, верификация данных, ресурсы, создание рукописи и ее редактирование, визуализация, руководство исследованием, администрирование проекта, формальный анализ.

Светлана Николаевна Туровская: ресурсы, создание рукописи и ее редактирование.

Елена Евгеньевна Илларионова: проведение исследования, ресурсы.

Елена Сергеевна Орлова: проведение исследования.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ekaterina Ivanovna Bolshakova: conducting research, methodology, draft preparation, manuscript writing and editing, visualization, data curation, project administration, formal analysis.

Irina Alexandrovna Barkovskaya: conducting research, visualization.

Alexander Gennadievich Kruchinin: methodology, data verification, resources, manuscript writing and editing, visualization, research supervision, project administration, formal analysis.

Svetlana Nikolaevna Turovskaya: resources, manuscript writing and editing.

Elena Evgenievna Illarionova: conducting research, resources.

Elena Sergeevna Orlova: conducting research.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Барцаев, А. В. (2023). Международные проекты таможенной службы России: состояние и перспективы их развития. *Теория и практика экономики и предпринимательства* (pp. 129–133). Симферополь: КФУ.
- Bartsaev, A. V. (2023). International projects of the Russian Customs Service: status and prospects for their development. *Theory and practice of economics and entrepreneurship*, 129–133. Simferopol: KFU. (In Russ.)
- Гаврилов, А. И., Сяньюй, У., & Чжэнь, Ч. (2024). Новый мировой порядок в безопасности транспортных перевозок грузов. *Научные проблемы водного транспорта*, (78), 127–140. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.461>
- Gavrilov, A. I., Xiangyu, W. X., & Zhen, Z. (2024). The new world order in the safety of cargo transportation. *Russian Journal of Water Transport*, (78), 127–140. (In Russ.) <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.461>
- Гурьева, К. Б., Иванова, Е. В., Тюгай, О. А. (2019). Изучение влияния температурных параметров на качество молочных консервов «Молоко цельное сгущенное с сахаром». *Товаровед продовольственных товаров*, (7), 55–61.
- Guryeva, K. B., Ivanova, E. V., Tyugay, O. A. (2019). Studying the effect of temperature parameters on the quality of canned milk — «whole condensed milk with sugar». *Food Products Commodity Expert*, (7), 55–61. (In Russ.)
- Ефимова, Е. В., Беспалова, Е. В., Дмитрук, Е. М., Вырина, С. И., & Смоляк, Т. М. (2024). Исследование физико-химических параметров и показателей качества молочных консервов при их длительном хранении в условиях отрицательных температур. *Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья*, (17), 147–155.
- Efimova, E. V., Bepalova, E. V., Dmitruk, E. M., Virina, S. I., & Smolyak, T. M. (2022). Study of physico-chemical parameters and quality indicators of canned milk during their long-term storage at subzero temperatures. *Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials*, (17), 147–155. (In Russ.)
- Рябова, А. Е. (2023). Исследование теплофизических свойств сгущенного молока с сахаром. *Пищевая промышленность*, (2), 52–55. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.012>
- Ryabova, A. E. (2023). Study of the thermophysical properties of sweetened condensed milk. *Food Industry*, (2), 52–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.012>
- Рябова, А. Е., Петров А. Н., & Пряничникова Н. С. (2023). Актуализация сроков годности и условий хранения молочных консервов: изменения в действующие инструкции. *Переработка молока*, 286(8), 37. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2023-8-37>
- Ryabova, A. E., Petrov, A. N., & Pryanichnikova, N. S. (2023). Updating the shelf life and storage conditions of canned milk: changes to the current instructions. *Milk Processing*, 286(8), 37. (In Russ.) <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2023-8-37>
- Туровская, С. Н., Галстян, А. Г., Петров, А. Н., Радаева, И. А., Илларионова, Е. Е., Семипятный, В. К., & Хуршудян, С. А. (2018). Безопасность молочных консервов как интегральный критерий эффективности их технологии. Российский опыт. *Пищевые системы*, 1(2), 29–54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54>
- Turovskaya, S. N., Galstyan, A. G., Petrov, A. N., Radaeva, I. A., Illarionova, E. E., Semipyatniy, V. K., & Khurshudyan, S. A. (2018). Safety of canned milk as an integrated criterion of their technology effectiveness. Russian experience. *Food systems*, 1(2), 29–54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54>
- Усов, Д. Ю., & Овчинников, Е. А. (2016). Основные требования, предъявляемые к хранению продовольствия в особых климатических условиях. *Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В.Хрулева*, 7(3), 62–67.
- Usov, D. Yu., & Ovchinnikov, Ye. A. (2016). Basic requirements for the food storage in special climatic conditions. *Bulletin of the Khrulev Military Academy of Logistics named after Army General A.V. Khrulev*, 7(3), 62–67. (In Russ.)
- Adrian, J. (2019). The Maillard reaction. In *Handbook of Nutritive Value of Processed Food* (pp. 529–608). CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9780429290527-22>
- Al-Hilphy, A. R., Ali, H. I., Al-Iessa, S. A., Gavahian, M., & Mousavi-Khaneghah, A. (2022). Assessing compositional and quality parameters of unconcentrated and refractive window concentrated milk based on color components. *Dairy*, 3(2), 400–412. <https://doi.org/10.3390/dairy3020030>
- Alinovi, M., Mucchetti, G., Wiking, L., & Corredig, M. (2020). Freezing as a solution to preserve the quality of dairy products: The case of milk, curds and cheese. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(20), 3340–3360. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1798348>
- Anema, S. G. (2020). The whey proteins in milk: Thermal denaturation, physical interactions, and effects on the functional properties of milk. In *Milk Proteins* (pp. 325–384). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-815251-5.00009-8>

- Augustin, M. A., & Udabage, P. (2007). Influence of processing on functionality of milk and dairy proteins. In *Advances in Food and Nutrition Research* (pp. 1–38). Elsevier. [http://dx.doi.org/10.1016/s1043-4526\(07\)53001-9](http://dx.doi.org/10.1016/s1043-4526(07)53001-9)
- Bottiroli, R., Troise, A. D., Aprea, E., Fogliano, V., Gasperi, F., & Vitaglione, P. (2021). Understanding the effect of storage temperature on the quality of semi-skimmed UHT hydrolyzed-lactose milk: An insight on release of free amino acids, formation of volatiles organic compounds and browning. *Food Research International*, 141, 110120. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110120>
- Chen, C., Mei, J., & Xie, J. (2021). Impact of thawing methods on physico-chemical properties and microstructural characteristics of concentrated milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(9). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15642>
- Considine, T., Patel, H. A., Anema, S. G., Singh, H., & Creamer, L. K. (2007). Interactions of milk proteins during heat and high hydrostatic pressure treatments — A Review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.08.003>
- Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., & O'Mahony, J. A. (2015). Heat-Induced changes in milk. In *Dairy Chemistry and Biochemistry* (pp. 345–375). Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-14892-2_9
- García-Risco, M. R., Ramos, M., & López-Fandiño, R. (2002). Modifications in milk proteins induced by heat treatment and homogenization and their influence on susceptibility to proteolysis. *International Dairy Journal*, 12(8), 679–688. [https://doi.org/10.1016/s0958-6946\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/s0958-6946(02)00060-2)
- Gazi, I., Franc, V., Tamara, S., van Gool, M. P., Huppertz, T., & Heck, A. J. R. (2022). Identifying glycation hot-spots in bovine milk proteins during production and storage of skim milk powder. *International Dairy Journal*, 129, 105340. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105340>
- Halabi, A., Deglaire, A., Hamon, P., Bouhallab, S., Dupont, D., & Croguennec, T. (2020). Kinetics of heat-induced denaturation of proteins in model infant milk formulas as a function of whey protein composition. *Food Chemistry*, 302, 125296. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125296>
- Jansson, T., Nielsen, S. B., Petersen, M. A., & Lund, M. N. (2020). Temperature-dependency of unwanted aroma formation in reconstituted whey protein isolate solutions. *International Dairy Journal*, 104, 104653. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104653>
- Jean, K., Renan, M., Famelart, M.-H., & Guyomarc'h, F. (2006). Structure and surface properties of the serum heat-induced protein aggregates isolated from heated skim milk. *International Dairy Journal*, 16(4), 303–315. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.04.001>
- Jongberg, S., Rasmussen, M., Skibsted, L. H., & Olsen, K. (2012). Detection of advanced glycation end-products (ages) during dry-state storage of β -lactoglobulin/lactose. *Australian Journal of Chemistry*, 65(12), 1620. <https://doi.org/10.1071/ch12442>
- Liu, J., Ru, Q., & Ding, Y. (2012). Glycation a promising method for food protein modification: Physicochemical properties and structure, a review. *Food Research International*, 49(1), 170–183. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.034>
- Liu, S.-C., Yang, D.-J., Jin, S.-Y., Hsu, C.-H., & Chen, S.-L. (2008). Kinetics of color development, pH decreasing, and anti-oxidative activity reduction of Maillard reaction in galactose/glycine model systems. *Food Chemistry*, 108(2), 533–541. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.006>
- Manzo, C., Nicolai, M. A., & Pizzano, R. (2015). Thermal markers arising from changes in the protein component of milk. *Food Control*, 51, 251–255. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.11.029>
- Meltretter, J., Becker, C.-M., & Pischetsrieder, M. (2008). Identification and site-specific relative quantification of β -Lactoglobulin modifications in heated milk and dairy products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(13), 5165–5171. <https://doi.org/10.1021/jf800571j>
- Meyer, B., Al-Diab, D., Vollmer, G., & Pischetsrieder, M. (2011). Mapping the glycoxidation product N ϵ -carboxymethyllysine in the milk proteome. *PROTEOMICS*, 11(3), 420–428. <https://doi.org/10.1002/pmic.201000233>
- Oldfield, D. J., Taylor, M. W., & Singh, H. (2005). Effect of preheating and other process parameters on whey protein reactions during skim milk powder manufacture. *International Dairy Journal*, 15(5), 501–511. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.09.004>
- Pathania, S., Parmar, P., & Tiwari, B. K. (2019). Stability of proteins during processing and storage. In *Proteins: Sustainable Source, Processing and Applications* (pp. 295–330). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-816695-6.00010-6>
- Petrov, A. N., Galstyan, A. G., Radaeva, I. A., Turvovskaya, S. N., Illarionova, E. E., Semipyatniy, V. K., Khurshudyan, S. A., DuBuske, L. M., & Krikunova, L. N. (2017). Indicators of Quality of Canned Milk: Russian and International Priorities. *Foods and Raw Materials*, 5(2), 151–161. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-151-161>
- Ryabova, A. E., Tolmachev, V. A., & Galstyan, A. G. (2022). Phase Transitions of Sweetened Condensed Milk in Extended Storage Temperature Ranges. *Food Processing: Techniques and*

- Technology*, 52(3), 526–535. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2379>
- Sahu, J. K., & Kumar Mallikarjunan, P. (2016). Effect of heat assisted high pressure treatment on rate of change in pH and gel strength of acidified milk gel in the preparation of soft cheese. *International Food Research Journal*, 23(6), 2459–2462.
- Shao, Y., Yuan, Y., Xi, Y., Zhao, T., & Ai, N. (2023). Effects of homogenization on organoleptic quality and stability of pasteurized milk samples. *Agriculture*, 13(1), 205. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010205>
- Sharma, N., Sharma, R., Rajput, Y. S., Mann, B., Singh, R., & Gandhi, K. (2021). Separation methods for milk proteins on polyacrylamide gel electrophoresis: Critical analysis and options for better resolution. *International Dairy Journal*, 114, 104920. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104920>
- Stojanovska, S., Gruevska, N., Tomovska, J., & Tasevska, J. (2017). Maillard reaction and lactose structural changes during milk processing. *Chemistry Research Journal*, 2(6), 139–145.
- Tribst, A. A. L., Falcade, L. T. P., Carvalho, N. S., Cristianini, M., Leite Júnior, B. R. de C., & Oliveira, M. M. de. (2020). Using physical processes to improve physicochemical and structural characteristics of fresh and frozen/thawed sheep milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102247. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102247>
- Van Boekel, M. A. J. S. (2001). Kinetic aspects of the Maillard reaction: A critical review. *Nahrung/Food*, 45(3), 150–159. [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20010601\)45:3<150::aid-food150>3.0.co;2-9](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20010601)45:3<150::aid-food150>3.0.co;2-9)
- Van Boekel, M. A. J. S., & Berg, H. E. (2005). Kinetics of the early maillard reaction during heating of milk. In Maillard Reactions in Chemistry, *Food and Health*, 170–175. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845698393.3.170>
- Van den Oever, S. P., & Mayer, H. K. (2021). Analytical assessment of the intensity of heat treatment of milk and dairy products. *International Dairy Journal*, 121, 105097. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105097>
- Xiang, J., Liu, F., Wang, B., Chen L, Liu W, & Tan S. A. (2021). Literature Review on Maillard Reaction Based on Milk Proteins and Carbohydrates in Food and Pharmaceutical Products: Advantages, Disadvantages, and Avoidance Strategies. *Foods*, 10(9), 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10091998>

Влияние условий хранения на физико-химические свойства электрохимически активированных растворов

Б. В. Маневич¹, Е. Н. Титов^{1,2}, Е. А. Бурыкина¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва, Российская Федерация

² Российский государственный социальный университет, г. Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: Микробиологическая безопасность производства пищевых продуктов неразрывно связана с проведением санитарно-гигиенических и противоэпидемических мероприятий, в которых немаловажная роль принадлежит использованию дезинфицирующих средств. Значимыми составляющими эффективности дезинфектантов являются их стабильность и изменения физико-химических свойств в процессе хранения. Существующая литература по теме свидетельствует о недостаточной изученности смачивающих свойств электрохимически активированных растворов (ЭХАР) анолитов в совокупности с такими традиционно анализируемыми характеристиками, как содержание активного хлора, показатель активности водородных ионов и окислительно-восстановительный потенциал (ОВП).

Цель: исследовать влияние условий хранения электрохимически активированных растворов нейтральных и кислотных анолитов на их физико-химические свойства, в том числе смачиваемость и стабильность.

Материалы и методы: Объектами исследований являются: кислотные и нейтральные электрохимически активированные растворы, получаемые на электролизных установках. Стабильность растворов анолитов оценивали по содержанию активного хлора, окислительно-восстановительному потенциалу (ОВП) и показателю активности водородных ионов (рН). Смачивающую способность оценивали по краевому углу смачивания (КУС) в 3-х фазной системе по методу Юнга-Лапласа.

Результаты: При хранении кислотных анолитов в течение 70 дней ОВП снижается по сравнению с исходным раствором, при этом скорость снижения зависит от условий хранения с наибольшим падением в первые дни хранения. У образцов нейтрального анолита существенного уменьшения ОВП не наблюдалось, однако для образцов, хранящихся в емкостях из различных материалов при температуре 5 ± 1 °C был отмечен определенный рост ОВП, который через 15–20 дней стабилизировался. У растворов нейтрального анолита скорость падения активного хлора существенно ниже, чем у кислотных анолитов и сопоставима с результатами снижения показателя рН данных растворов, что может быть интерпретировано образованием хлорсодержащих кислот в хранившихся образцах, которые переводили растворы из нейтральной среды в кислую. КУС анолита по отношению к поверхности из нержавеющей стали после хранения сопоставим со значением КУС 0,1 н раствора соляной кислоты.

Выводы: Условия хранения ЭХАР оказывают существенное влияние на физико-химические и потребительские свойства анолитов. При различных условиях хранения как кислотных, так и нейтральных анолитов температурный фактор является важнейшим, определяющим стабильность этих растворов. Использование и хранение растворов нейтральных анолитов предпочтительнее, чем кислотных, но требует соблюдения определенных условий. ЭХАР нейтральных анолитов должны храниться в закрытых стеклянных, нержавеющей или эмалированных емкостях в прохладном темном месте, вдали от нагревательных приборов, не допуская попадания прямых солнечных лучей при температуре от 0 °C до плюс 8 °C при соблюдении принципов товарного соседства.

Ключевые слова: электрохимически активированные растворы; анолит; хлорактивные средства, окислительно-восстановительный потенциал; активный хлор; смачиваемость

Корреспонденция:
Борис Владиленович Маневич
E-mail: b_manevich@vniimi.org

Конфликт интересов:
авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 23.01.2024

Принята: 15.08.2024

Опубликована: 30.09.2024

Copyright: © 2024 Авторы



Для цитирования: Маневич, Б.В., Титов, Е.Н., & Бурыкина, Е.А. (2024). Физико-химические изменения в электрохимически активированных растворах анолитов при различных условиях хранения. *FOOD METAENGINEERING*, 2(3), 41–53. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.57>

The Impact of Storage Conditions on the Physicochemical Properties of Electrochemically Activated Solutions

Boris V. Manevich, Evgeniy N. Titov, Elena A. Burykina

¹ All-Russian Dairy Research
Institute, Moscow, Russian
Federation, Moscow, Russian
Federation

² Russian Social State University,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: Microbiological safety in food production is closely linked to the implementation of sanitary, hygienic, and anti-epidemic measures, where disinfectants play a critical role. The effectiveness of disinfectants largely depends on their stability and changes in physicochemical properties during storage. Existing literature highlights the insufficient study of the wetting properties of electrochemically activated solutions (ECAS) of anolytes in conjunction with traditionally analyzed characteristics such as active chlorine content, hydrogen ion activity (pH), and oxidation-reduction potential (ORP).

Purpose: To investigate the impact of storage conditions on the physicochemical properties of electrochemically activated neutral and acidic anolytes, including their wettability and stability.

Materials and Methods: The study objects were acidic and neutral electrochemically activated solutions obtained using electrolysis systems. The stability of anolyte solutions was evaluated based on active chlorine content, oxidation-reduction potential (ORP), and pH values. Wettability was assessed by the contact angle (CA) in a three-phase system using the Young-Laplace method.

Results: During the 70-day storage of acidic anolytes, ORP decreased compared to the initial solution, with the rate of decline depending on storage conditions and the most significant drop occurring in the initial days. For neutral anolyte samples, no significant ORP reduction was observed. However, samples stored in containers of different materials at a temperature of 5 ± 1 showed a slight increase in ORP, which stabilized after 15–20 days. In neutral anolytes, the rate of active chlorine decrease was significantly lower than in acidic anolytes and correlated with pH reductions. This may be attributed to the formation of chlorine-containing acids in stored samples, shifting the solutions from neutral to acidic. The contact angle (CA) of anolytes on stainless steel surfaces after storage was comparable to the CA of a 0.1 N hydrochloric acid solution.

Conclusion: Storage conditions significantly influence the physicochemical and consumer properties of anolytes. Under different storage conditions, temperature is the most critical factor determining the stability of both acidic and neutral anolytes. Neutral anolytes are preferable for use and storage but require adherence to specific conditions. Neutral ECAS anolytes should be stored in closed glass, stainless steel, or enamel containers in a cool, dark place, away from heat sources and direct sunlight, at temperatures ranging from 0°C to +8°C, while following proper storage compatibility principles.

Keywords: electrochemically activated solutions; anolyte; chlorine-based disinfectants; oxidation-reduction potential; active chlorine; wettability

Correspondence:

Boris V. Manevich
E-mail: b_manevich@vnimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 23.01.2024

Accepted: 15.08.2024

Published: 30.09.2024

Copyright: © 2024 The Authors



To cite: Manevich, B.V., Titov, E.N., & Burykina, E.A. (2024). The impact of storage conditions on the physicochemical properties of electrochemically activated solutions. *FOOD METAENGINEERING*, 2(3), 41–53.. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.57>

ВВЕДЕНИЕ

Санитарная обработка является неотъемлемой частью технологического процесса на любом пищевом производстве, оказывая непосредственное влияние на качество и безопасность выпускаемой продукции. Санитарная обработка¹ — это комплекс мероприятий по устранению различного рода загрязнений с помощью моющих и чистящих средств с последующей профилактической дезинфекцией².

Разработка новых дезинфицирующих средств для санитарной обработки является актуальным направлением научно-практического развития в связи с ростом устойчивости к противомикробным препаратам у различных микроорганизмов (особенно в медицинских учреждениях (Бессарабова, 2021), сельском хозяйстве (Метлева, 2021) и пищевой промышленности (Семенихина, 2020), а также в связи с рядом ограничений на использование существующих биоцидов на пищевых предприятиях. При разработке новых дезинфицирующих средств основной задачей является получение высокого бактерицидного эффекта, который будет сохраняться при низкой концентрации действующего вещества, с минимальным токсическим воздействием на организм человека.

Из дезинфицирующих средств, используемых на молочных предприятиях, хлорактивные препараты являются наиболее хорошо изученными и, по праву считаются одними из надежных и эффективных. Кроме этого, привлекательность хлорактивных дезинфектантов объясняется их доступностью и невысокой стоимостью (Маневич, 2007; Кузина, 2015).

Электрохимически активированные растворы считаются безопасными для организма человека и окружающей среды (Park, 2007; Garcia-Rodriguez, 2022; Панкратова, 2023), поскольку разлагаются до солей и воды за счет химической релаксации. В целом ЭХА-растворы анолитов были положительно оценены в пищевой промышленности (He, 2021; Shi, 2023). Известны примеры их использования как в процессах обеззараживания различных контактных поверхностей (Yan, 2021), так и для обработки определенных пищевых продуктов и использования в качестве технологических вспомогательных средств (Kovaliova, 2022; Pivovarov, 2022),

выполняя роль «зеленого биоцида» за счет сокращения использования активного хлора (Scialdone, 2021; Aniyuay, 2022) и экологизации производств в контексте утилизации токсичных химических веществ.

Изменение физико-химических свойств (активный хлор, pH, ОВП) ЭХАР определяет их стабильность. А стабильность и стойкость при хранении являются не только важнейшими показателями качества этих растворов, но и напрямую связаны с их эффективностью как дезинфектантов по воздействию на нежелательную микрофлору (Nisola, 2011; Clayton, 2021; Mohammadi, 2021).

Основным преимуществом ЭХА-растворов является возможность получать их непосредственно на производстве, за счет таких ресурсов как вода, соль и электричество, устраняя необходимость транспортировки и хранения больших объемов жидких дезинфицирующих средств и связанные с этим фактором экологические последствия. В то же время возможны ситуации, когда их хранение и транспортировка необходимы: отсутствие электроснабжения или хлорида натрия, необходимого для приготовления исходного раствора, невозможность монтажа электролизной установки на производстве. Получение новых знаний об изменении смачиваемости и других взаимосвязанных свойств ЭХАР кислотных и нейтральных анолитов при различных условиях хранения необходимо для их эффективного и безопасного применения в качестве биоцидов.

В предыдущих публикациях (Маневич, 2019; Маневич, 2022; Маневич, 2023) отражена ведущая роль смачивания поверхностей, подвергаемых мойке и дезинфекции, в достижении эффективности санитарной обработки. В связи с этим представляет научно-практический интерес оценка смачивающих свойств анолита по отношению к тест-поверхности из хромоникелевой нержавеющей стали, имитирующей поверхность технологического оборудования.

Целью настоящего исследования являлась оценка влияния условий хранения кислотных и нейтральных анолитов на их смачиваемость и физико-химические свойства: pH, ОВП, содержание активного хлора, определяющие в совокупности стабильность ЭХАР в существенно более длительном интервале (70 суток).

¹ ГОСТ Р 54762–2011/ISO/TS 22002–1:2009 «Программы предварительных требований по безопасности пищевой продукции. Производство пищевой продукции».

² Фильчакова, С. (2008). Санитария и гигиена на предприятиях молочной промышленности. Дели принт.

Исследовательские вопросы:

- (1) Как влияют условия хранения нейтральных и кислотных ЭХАР на изменение ОВП?
- (2) Как влияют условия хранения нейтральных и кислотных ЭХАР на показатели pH растворов?
- (3) Влияют ли условия хранения нейтральных и кислотных ЭХАР на изменение содержания активного хлора в анолитах?
- (4) На сколько изменяются смачивающие свойства нейтрального анолита при хранении?

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследования являлись ЭХАР анолитов кислотного и нейтрального характера.

Материалы

Для приготовления и изучения физико-химических свойств электрохимически активированных растворов использовали водопроводную воду; дистиллиро-

ванную воду (ГОСТ 6709–72); хлорид натрия, х.ч. (ГОСТ 4233–77); стандартный-титр натрий серноватокислый (тиосульфат натрия) 5-водный по ТУ6–09-2540–87; калий йодистый (ГОСТ 4232); кислота серная (ГОСТ 4204).

Оборудование

Аппараты и материалы, используемые в работе: лабораторная установка АКВАТРОН-17-Л (Рисунок 1 (А)); установка СТЭЛ-АНК-СУПЕР (Рисунок 1 (Б)); весы электронные технические МЛ 0,6-II ВЖА; полуавтоматический титратор TOP Buret H; pH-метр Hanna Instruments HI991001 с электродом HI1296D; pH-150 МИ с использованием стеклянного электрода с red-ox функцией; прибор для измерения краевого угла смачивания прибора DSA25S (Krüss Optronic GmbH, Германия).

Методы

Получение анолитов

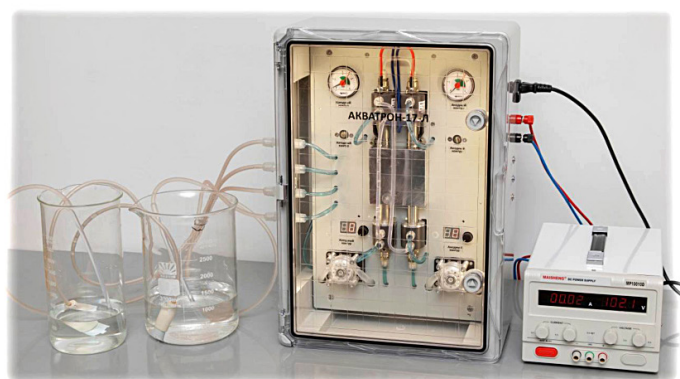
Эксперименты по электрохимической активации водно-солевого раствора проводили с использованием лабораторной установки АКВАТРОН-17-Л, оснащенной

Рисунок 1

Установка для электрохимической обработки воды и водных растворов АКВАТРОН-17-л (А), СТЭЛ-АНК-СУПЕР (Б)

Figure 1

Installation for electrochemical treatment of water and water solutions aquatron-17-l (A), stel-ank-super (B)



А



Б

электрохимическим реактором РПЭ-2, состоящим из двух диафрагменных электрохимических модулей Бахира «МБ-11Т», с платиновым покрытием анода. При работе на данной установке были получены образцы кислотного анолита. Эксперименты по получению нейтрального анолита АНК-СУПЕР проводились с использованием установки СТЭЛ-АНК-СУПЕР. Растворы кислотного и нейтрального анолитов получали в соответствии с инструкциями по эксплуатации установок АКВАТРОН-17-Л и СТЭЛ-АНК-СУПЕР для электрохимической обработки воды и водных растворов.

Электрохимические установки использовали для электролиза водных растворов химически чистого хлорида натрия.

Получение кислотного анолита

Для приготовления кислотного анолита навеску соли хлорида натрия (18 г) растворяли в мерной колбе на 2 л до полного растворения. Далее раствор переносили в емкость для получения анолита и погружали в него насосные шланги, подключенные к установке АКВАТРОН-17-Л. На данной установке при силе тока 2,0 А и времени электрохимической обработки 60 минут был получен электрохимически активированный раствор кислотного анолита.

Получение нейтрального анолита

Для приготовления нейтрального анолита навеску соли хлорида натрия (10 г) растворяли в мерной колбе на 2 л до полного растворения. Далее раствор переносили в емкость для получения анолита и погружали в него насосные шланги, подключенные к установке СТЭЛ-АНК-СУПЕР. При получении нейтрального анолита АНК скорость потока исходного раствора через электродную камеру единичного элемента ПЭМ-3 составляла 15 л/ч, а сила тока, протекающего через единичный элемент ПЭМ-3 составляла 5 А.

Определение массовой доли активного хлора

По ГОСТ Р 57001–2016³ методом йодометрического титрования определяли массовую долю активного хлора в электрохимически активированных растворах анолитов.

Определение pH полученных электрохимически активированных растворов

По ГОСТ 32385–2013⁴ определяли потенциометрическим методом показатель активности водородных ионов (pH) с помощью pH-метра Hanna Instruments HI991001 с электродом HI1296D.

Определение окислительно-восстановительного потенциала полученных электрохимически активированных растворов

Окислительно-восстановительный потенциал определяли электрохимическим методом на приборе pH-150 МИ с использованием стеклянного электрода с red-ox функцией относительно стандартного водородного электрода.

Определение смачивающей способности полученных электрохимически активированных растворов

Смачивающую способность оценивали по краевому углу смачивания (KUC, θ) в 3-х фазной системе: адгезив (анолит) — субстрат (тест-пластина из аустенитной нержавеющей стали марки 08X18H10T, 9 класс шероховатости, $R_a = 0,2-0,3$ мкм) — воздух методом лежащей капли по методу Юнга-Лапласа с помощью прибора DSA25S (Krüss Optronic GmbH, Германия) и программного обеспечения Krüss Advance 1.12.2.06901.

Процедура исследования

Исследование состояло из нескольких последовательных этапов, включающих в себя получение электрохимически активированных растворов анолитов кислотного и нейтрального характера и выбор условий хранения данных растворов, представленных в Таблице 1, в течение 70 суток. На следующем этапе исследований изучали изменение окислительно-восстановительного потенциала, pH, содержание активного хлора нейтрального и кислотного анолитов. На заключительном этапе исследования оценивали изменение смачивающей способности нейтрального анолита после хранения. Далее проводили мониторинг в течение 70 дней с шагом 5 суток основных физико-химических показателей (содержание активного хлора, ОВП, pH, изменение смачиваемости).

³ Дезинфектология и дезинфекционная деятельность. Химические дезинфицирующие средства и антисептики.

⁴ Товары бытовой химии. Метод определения показателя активности водородных ионов (pH).

Б. В. Маневич, Е. Н. Титов, Е. А. Бурыкина

Таблица 1

Карта образцов растворов в зависимости от условий хранения и pH

Table 1

Map of sample solutions depending on storage conditions and pH

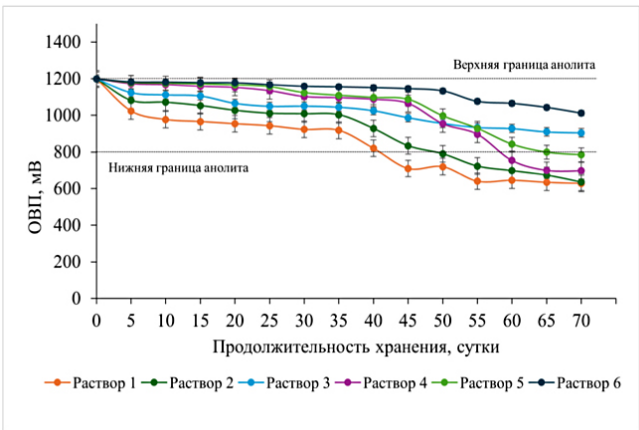
Обозначение	pH раствора	Условия хранения	Материал хранения
Раствор 1	2,20	Светлое помещение (25 ± 1 °C)	Полипропилен
Раствор 2		Темное помещение (20 ± 1 °C)	
Раствор 3		Темное помещение (5 ± 1 °C)	
Раствор 4		Светлое помещение (25 ± 1 °C)	
Раствор 5	6,48	Темное помещение (20 ± 1 °C)	Стекло
Раствор 6		Темное помещение (5 ± 1 °C)	
Раствор 7		Светлое помещение (25 ± 1 °C)	
Раствор 8		Темное помещение (20 ± 1 °C)	
Раствор 9		Темное помещение (5 ± 1 °C)	Полипропилен
Раствор 10		Светлое помещение (25 ± 1 °C)	
Раствор 11		Темное помещение (20 ± 1 °C)	
Раствор 12		Темное помещение (5 ± 1 °C)	

Рисунок 2

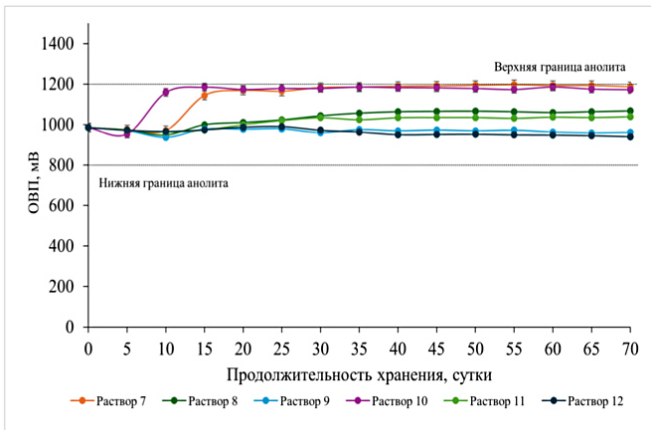
Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) кислотного (А) и нейтрального (Б) анолита, хранящихся при различных условиях в течение 70 дней

Figure 2

Redox potential (ORP) of acidic (A) and neutral (B) anolyte stored under different conditions for 70 days



А



Б

Анализ данных

Все результаты представлены по данным трех-пяти независимых экспериментов. Результаты представляли как среднее значение ± стандартное отклонение. Для обработки полученных данных использовали стандартные статистические методы. Данные подвергали дисперсионному анализу (ANOVA) с применением Minitab Statistical Software (США, 2023). Построение таблиц и графиков проводилось с использованием программ Microsoft Office.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Было исследовано влияние различных условий хранения на свойства ЭХАР анолитов и получены результаты изменения физико-химических показателей кислотных и нейтральных анолитов, которые представлены следующими блоками: изменение окислительно-восстановительного потенциала, изменение показателя pH, изменение содержания активного хлора, изменение смачивающей способности.

Изменения окислительно-восстановительного потенциала

Результаты исследований при хранении кислотных анолитов (раствор 1–6) в течение 70 суток ОВП данных растворов снижается по сравнению с исходным раствором, при этом скорость снижения зависит от условий хранения, как показано на Рисунке 2 (А). Заметный

результат падения ОВП был отмечен в образцах, хранящихся в полипропиленовой таре, как в светлом так, и в темном помещении при комнатной температуре в течение 45 дней, составив $710 \pm 3,7$ мВ и $808 \pm 3,9$ мВ соответственно, от начального значения в $1198 \pm 5,3$ мВ. Значения ОВП образцов, хранившихся в стеклянной и в полипропиленовой таре при температуре 4°C спустя 45 дней, составили $1145 \pm 4,9$ мВ и $987 \pm 4,5$ мВ соответственно от начального. Для всех образцов нейтрального анолита (Рисунок 2 (Б)) существенного снижения ОВП не наблюдалось.

Изменения показателя pH

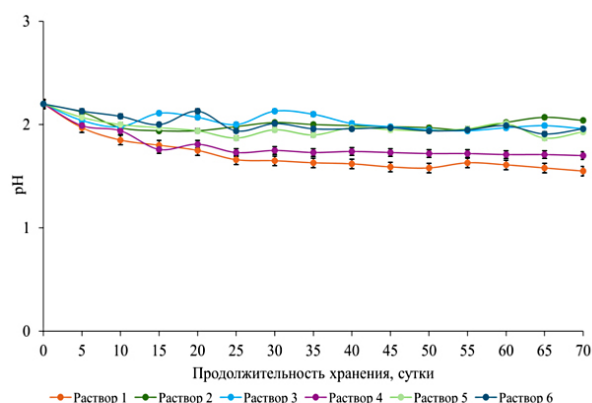
Результаты исследования изменений pH кислотного (А) и нейтрального (Б) электрохимически активированных растворов при длительном хранении показаны на Рисунке 3. Для кислотных анолитов (Рисунок 3 (А)) pH почти не изменялся не зависимо от условий хранения. Однако для нейтральных анолитов (Рисунок 3 (Б)), хранящихся в светлом и темном помещении при комнатной температуре (растворы 7, 10) независимо от материала упаковки замечен сдвиг показателя pH в кислую сторону, который со временем стабилизируется. Для этих растворов нейтрального анолита существенное снижение pH происходило на 20 день хранения с $6,48 \pm 0,02$ до $2,58 \pm 0,10$ и с $6,48 \pm 0,02$ до $2,48 \pm 0,11$ соответственно.

Рисунок 3

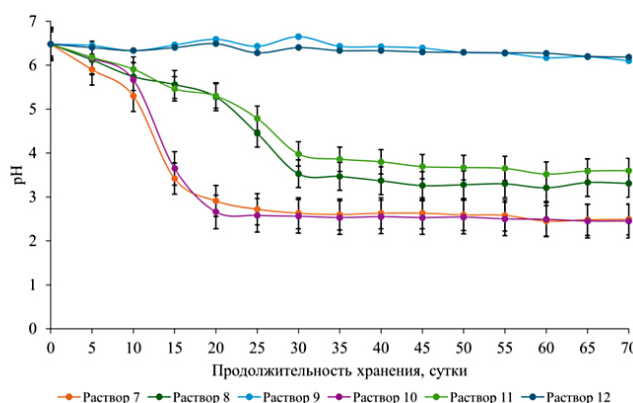
Водородный показатель (pH) кислотного (А) и нейтрального (Б) анолита, хранящихся при различных условиях в течение 70 дней

Figure 3

Hydrogen demonstration (pH) of acid (A) and neutral (B) anolyte stored under different conditions for 70 days



А



Б

Изменения содержания активного хлора

Результаты исследований содержания активного хлора в хранившихся кислотных (А) и нейтральных (Б) электрохимически активированных растворах показано на Рисунке 4. Для кислотных анолитов (Рисунок 4 (А)) снижение содержания активного хлора было отмечено уже в первые 5 дней хранения. Время, когда содержание активного хлора в хранящихся кислотных анолитах (раствор 1–6) статистически снизилось практически до нуля, варьировалось в зависимости от материала и условий хранения. В течение 40 суток во всех образцах кислотного анолита концентрация активного хлора упала до 0 мг/л. Для нейтральных анолитов (Рисунок 4 (Б)) изменение показателя содержания активного хлора зависело от условий хранения. При хранении в светлом помещении как в пластиковой, так и в стеклянной таре (раствор 7 и 10) содержание активного хлора снизилось до 0 мг/л в 45 и 55 суток соответственно. На 70 сутки для нейтрального анолита, хранившегося в темном помещении как в пластиковой, так и в стеклянной таре (раствор 8 и 11) показатель содержания активного хлора уменьшился для данных растворов на $69,54 \pm 7,86\%$ и $60,80 \pm 7,12\%$ от первоначального значения. Падение показателя активного хлора для образцов, хранившихся при температуре $5 \pm 1^\circ\text{C}$ как в пластиковой, так и в стеклянной таре (раствор 9 и 12) на 70 сутки составило $21,33 \pm 4,23\%$ и $5,14 \pm 2,64\%$ от первоначального значения.

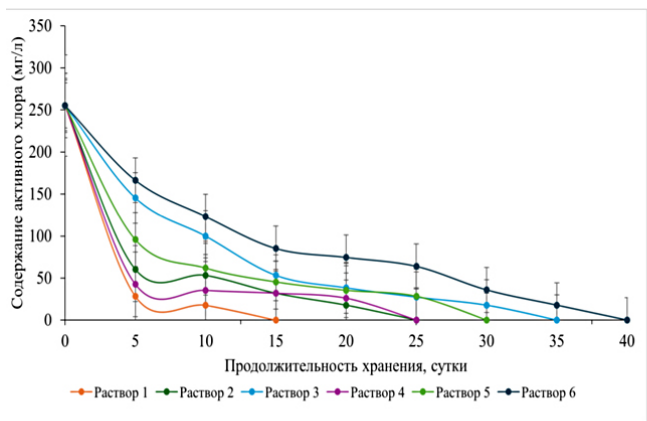
Б. В. Маневич, Е. Н. Титов, Е. А. Бурыкина

Рисунок 4

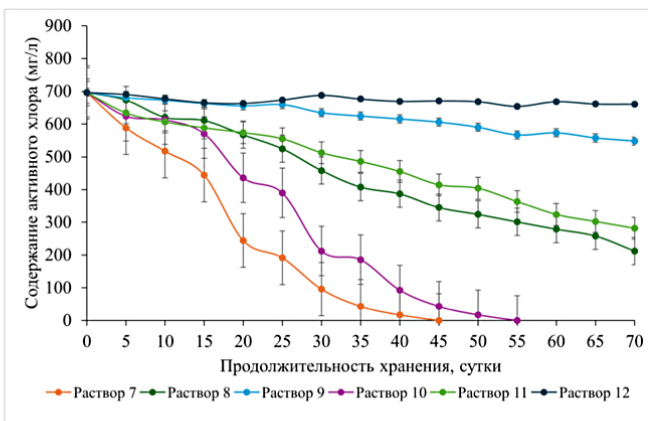
Содержание активного хлора (мг/л) кислотного (А) и нейтрального (Б) анолита, хранящихся при различных условиях в течение 70 суток

Figure 4

Active chlorine content (mg/l) of acid (A) and neutral (B) anolyte stored under different conditions for 70 days



А



Б

Изменения смачивающей способности
нейтрального анолита

Результаты изменений КУС анолита, характеризующе-го смачиваемость адгезивом субстрата, в отношении тест-поверхности из нержавеющей стали, имитирующей поверхность оборудования, продемонстрированы в Таблице 2. Смачивающая способность полученного («свежеприготовленного») раствора нейтрального анолита (Анолит 1) составляла $63,75 \pm 2,67^\circ$, у анолита — раствора 12 (Анолит 2), хранившегося в стеклянной емкости при температуре $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 70 суток, $\text{КУС} = 46,03 \pm 2,24^\circ$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

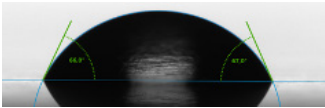
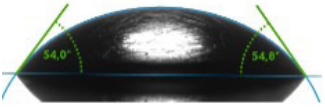
Физико-химические свойства ЭХАР зависят от характеристик электрохимической ячейки, на которой они производятся от её рабочих параметров и исходных растворов, подвергающихся электролизу. Растворы, полученные в результате реакций, протекающих на аноде, обладают доказанной бактерицидной эффективностью в результате образования нескольких активных форм хлорсодержащих окислителей: Cl_2 , HClO , OCl^- и др. Обычно такие растворы показывают окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) в диапазоне от +800

Таблица 2

Краевой угол смачивания (КУС) различных адгезивов по отношению к тест-поверхности из нержавеющей стали

Table 2

Wetting edge angle (WEA) of different adhesives against stainless steel test surface

Адгезив	Краевой угол смачивания (КУС) на субстрате, °
А. Анолит 1	 $63,75 \pm 2,67$
Б. Анолит 2	 $46,03 \pm 2,24$
В. Кислота соляная (0,1 н НCl)	 $54,60 \pm 2,05$
Г. Кислота соляная (2,0 н НCl)	 $27,34 \pm 3,67$

мВ до +1200 мВ и значением pH от 2 до 5. На катоде образуется водород, наряду с другими активированными веществами (в основном антиоксидантами), что приводит к снижению окислительно-восстановительного потенциала и повышению pH (Thorn, 2012; Маневич, 2024). Катодные растворы (католит) могут быть использованы в качестве моющих средств и их свойства данной статье не рассматриваются. Модифицированный вариант кислотных ЭХАР также может быть получен путем направления части анодного выхода обратно в катодную камеру, получая нейтральный анолит (Петрова, 2020).

Данные, полученные в результате этого исследования, позволяют предположить, что как температура, так и материал для хранения существенно влияют на скорость снижения ОВП и содержания активного хлора в кислых анолитах, при этом температура оказывает наибольшее влияние на длительность хранения, чем материал, используемый для хранения. Fabrizio и Cutter (2003) также установили, что ЭХАР были более стабильны при хранении растворов кислотного анолита при температуре 4 °С, чем при хранении при 25 °С, при этом ОВП оставался стабильным в течение первых трех дней, а уровень pH не изменялся. Как и в нашем исследовании, pH оставался постоянным в течение всего периода более длительного хранения кислотного анолита, однако для нейтральных анолитов, хранящихся в светлом и темном помещении при комнатной температуре независимо от материала упаковки отмечен сдвиг показателя pH в кислую сторону. По всей вероятности, снижение показателя pH связано с воздействием ультрафиолетового излучения. В темном помещении без доступа ультрафиолетового излучения pH растворов 8 и 11 снижалось до значения $3,32 \pm 0,12$ в течение 30 дней хранения. Растворы 9 и 12, хранящиеся в холодном и темном помещении практически не изменили показатель pH в течение 70 дней. Эти данные не в полной мере согласуются с исследованиями Cui et al. (2009). В своем исследовании авторский коллектив изучал нейтральный и кислый анолит в течение 30 дней, обнаружив, что pH как для нейтрального, так и для кислого анолита остается стабильным.

В нашем исследовании ЭХА-растворы продемонстрировали большее снижение ОВП в первые дни хранения. Окислительно-восстановительный потенциал кислотных растворов анолитов, хранящихся в полипропилено-

вой таре, падал несколько быстрее, чем ОВП, хранящихся в стеклянных емкостях. Для нейтральных анолитов существенного снижения ОВП не наблюдалось, однако для образцов, хранящихся в емкостях из различных материалов при температуре 5 ± 1 °С (раствор 7 и 10) был отмечен определенный рост ОВП, который через 15–20 дней стабилизировался. По всей видимости, данный фактор связан с уравнением Нернста (1), в котором единственным членом, не являющимся постоянной величиной, является температура.

$$E = E_0 - \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{a_{Ox}}{a_{Red}}, \quad (1)$$

где a_{Ox} и a_{Red} — активность окислительной и восстановительной форм вещества, участвующие в электродной реакции, E_0 — стандартный потенциал электрода, R — газовая постоянная, n — число электронов, принимающих участие в электродной реакции, T — абсолютная температура.

Аналогично изменениям показателя ОВП, самая низкая скорость падения содержания активного хлора зафиксирована при хранении в стеклянной емкости при температуре 5 ± 1 °С. Похожий механизм снижения содержания активного хлора был описан в исследованиях Len и др. (Len, 2002; Kinigk, 2008). В своих исследованиях они предположили, что основным механизмом потери хлора в закрытых условиях (при отсутствии испарения) является саморазложение соединений хлора в растворе. Этот фактор может быть объяснен образованием хлорсодержащих кислот в хранившихся образцах, которые переводили растворы из нейтральной среды в кислую. Распад неустойчивой хлорноватистой кислоты на кислород и хлористый водород постепенно приводит к тому, что весь активный хлор вступает во взаимодействие с водой, а в растворе остается только соляная кислота. На свету эта реакция идет быстрее⁵ (Шестипалов, 2015).

Растворы нейтрального анолита по анализируемым показателям (ОВП и содержание активного хлора) при идентичных условиях хранения существенно стабильнее, чем растворы кислотного анолита. Кроме этого, приготовленные растворы нейтрального анолита индифферентны по отношению к большинству материалов, используемых на предприятиях молочной промышленности.

⁵ Алагемян, Р. (1981). *Моющие и дезинфицирующие средства в молочной промышленности*. М.: Легкая и пищевая промышленность.

В литературных источниках никто из авторов, исследовавших стабильность кислотных и/или нейтральных ЭХАР не рассматривали такой показатель, как смачиваемость поверхности. По результатам нашего исследования, было обнаружено снижение КУС от исходного значения этого показателя при хранении нейтрального анолита. Для сопоставления в Таблице 2 (В, Г) приведены значения КУС растворов соляной кислоты (HCl) различной концентрации — 0,1 н и 2,0 н. Очевидно, с ростом концентрации данного кислотного электролита улучшается смачиваемость, характеризующаяся снижением КУС. КУС анолита после хранения в течение 70 дней по отношению к поверхности из нержавеющей стали сопоставим со значением КУС 0,1 н раствора соляной кислоты. Снижение КУС и значения pH раствора анолита связано, по всей видимости, с частичной ассоциацией хлорсодержащих кислот.

Результаты проведенных исследований подтвердили ожидаемое существенное влияние условий хранения на основные физико-химические свойства анолитов. Полученные нами данные подтверждают, что температурный фактор является важнейшим, определяющим стабильность как кислотных, так и нейтральных анолитов. Анализ изменения показателей стабильности позволяет утверждать, что освещенность помещений для хранения и влияние ультрафиолета на хранимособность анолитов не существенна, но большая стойкость отмечается при хранении в темноте. Оценивая тару, используемую для хранения ЭХАР, следует отдать предпочтение такому индифферентному материалу, как стекло.

ЭХАР нейтральных анолитов должны храниться в закрытых стеклянных, нержавеющей (хром-никелевых) или эмалированных (без повреждений эмали) емкостях в прохладном темном месте, вдали от нагревательных приборов, не допуская попадания прямых солнечных лучей при температуре от 0 °C до плюс 8 °C при соблюдении принципов товарного соседства.

Полученные результаты связаны с рядом ограничений исследования. Одним из ключевых ограничений исследования являлось использование электролизных установок АКВАТРОН-17-Л и СТЭЛ-АНК-СУПЕР, оснащенных электрохимическими реакторами с диафрагменными элементами МБ и реакторами МБ-11, МБ-26. Применение аналогичных модулей и технологической схемы электролиза позволяет масштабировать данную технологию от лабораторных установок производи-

тельностью 5–20 л/час к промышленным с производительностью до 1000 л/час с соответственным повышением концентрации оксидантов от 500 до 5000 мг/л. С высокой долей вероятности можно утверждать, что ЭХАР анолитов, получаемые на более производительных промышленных установках, будут обладать теми же физико-химическими свойствами при соответствующих условиях хранения. Вместе с тем, применение в электрохимических реакторах альтернативных схем и материалов мембран и электродов не гарантирует сохранения важнейших физико-химических свойств, определяющих стабильность ЭХАР.

Также ограничения исследования были связаны с использованием исходных водно-солевых растворов, подвергающихся электролизу. В данном исследовании были рассмотрены водные растворы хлорида натрия (поваренной соли), как наиболее доступной и широко распространенной субстанции. Вместе с тем в качестве исходных могут быть использованы растворы натриевых или калиевых солей различных, в том числе органических кислот. Изучение свойств анолитов, получаемых при электролизе указанных солей, представляет перспективный научно-практический интерес.

Одно из ограничений исследования при определении смачивающей способности по КУС нейтральных анолитов связано с использованием в качестве субстрата пластин из нержавеющей стали. При определении смачиваемости различными адгезивами используют субстраты в виде поверхностей из стекла, пластика, керамики и проч. Тест-поверхности из аустенитной нержавеющей стали, имитирующие поверхности оборудования были выбраны в качестве субстрата, поскольку растворы нейтральных анолитов предполагается использовать для обработки поверхностей технологического оборудования, состоящего более чем на 95 % из нержавеющей стали выбранной нами марки, отвечающей по составу и шероховатости требованиям, предъявляемым к таким поверхностям.

Проведенные исследования были ограничены по продолжительности хранения ЭХАР анолитов в течение 70 суток, что связано с полной потерей активного хлора у всех кислотных растворов и их деградацией после 40 суток. Проведение сравнительной оценки изменения физико-химических свойств кислотных и нейтральных анолитов более 70 суток считали нецелесообразным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение влияния условий хранения электрохимически активированных растворов нейтральных и кислотных анолитов на их физико-химические свойства, определяющие стабильность, позволило выявить ключевые факторы, играющие доминирующую роль. Полученные результаты позволяют сделать заключение, что хранение кислотных анолитов нецелесообразно, а хранение нейтральных анолитов требует соблюдения определенных условий. Оценка изменения смачиваемости нейтрального анолита в процессе хранения подтверждает гипотезу об ассоциации хлорсодержащих кислот в растворе, что стимулирует проведение дальнейших исследований, направленных на изучение коррозионной активности анолитов по отношению к различным материалам, подвергаемым дезинфекции на пищевых предприятиях.

Полученные результаты предполагается использовать при разработке рекомендаций по применению ЭХАР на предприятиях молочной промышленности в процессах санитарных обработок. В дальнейших исследованиях планируется изучить бактерицидность растворов анолитов с различными соотношениями значений ОВП и содержания активного хлора с возможностью улучшения смачивающих свойств ЭХАР.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бессарабова, М., Позднякова, М. (2021). О роли госпитального эпидемиолога в организации и проведении дезинфекционных мероприятий в медицинских организациях. *Актуальные вопросы профилактической медицины и санитарно-эпидемиологического благополучия населения: факторы, технологии, управление и оценка рисков* (с. 126–128). Медиал.
- Bessarabova, M., Pozdnyakova, M. (2021). O roli hospital'nogo epidemiologa v organizacii i provedenii dezinfekcionnyh meropriyatij v medicinskih organizacijah. *Aktual'nye voprosy profilakticheskoy mediciny i sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya: Faktory, tekhnologii, upravlenie i ocenka riskov* (pp. 126–128). Medial.
- Кузина, Ж., Маневич, Б., Харитонов, Е.Б., Косьяненко, Т.И., & Хабибова, Н.З. (2015). Санитарно-гигиенические мероприятия на предприятиях молочной промышленности. *МОЛОКО. Переработка и хранение* (pp. 402–439). ВНИМИ.

ВКЛАД АВТОРОВ

Борис Владиленович Маневич: концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, визуализация, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Евгений Николаевич Титов: разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, визуализация, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Елена Александровна Бурыкина: написание — подготовка черновика рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Boris V. Manevich: conceptualizing, developing research methodology, working with software, visualizing, conducting the study, writing-reviewing and editing the manuscript.

Evgeniy N. Titov: developing research methodology, working with software, visualization, conducting the study, writing-reviewing and editing the manuscript.

Elena A. Burykina: writing - preparing a draft of a manuscript.

Kuzina, J., Manevich, B., Kharitonova, E.B., Kosyanenko, T.I., & Habibova, N.Z. (2015). Sanitarno-gigienicheskie meropriyatija na predpriyatiyah molochnoj promyshlennosti. *МОЛОКО. Переработка и хранение: kollektivnaya monografiya* (pp. 402–439). VNIMI.

Маневич, Б. (2007). Дезинфицирующие средства: о «хлорке» и хлорсодержащих препаратах. *Переработка молока*, 5, 22–24.

Manevich, B. (2007). Dezinficiruyushchie sredstva: o «hlorke» i hlorsoderzhashchih preparatah. *Pererabotka moloka*, 5, 22–24.

Маневич, Б., Кузина, Ж., Косьяненко, Т., Гаврилова, Н. (2019). Смачивание и его роль в процессах санитарной обработки автоматов розлива и фасовки. *Переработка молока*, 10, 68–70. <http://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-10-68-70>

Manevich, B., Kuzina, Zh., Kos'yanenko, T., Gavrilova, N. (2019). Smachivanie i ego rol' v processah sanitarnoj obrabotki

- avtomatov rozliva i fasovki. *Pererabotka moloka*, 10, 68–70. <http://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-10-68-70>
- Маневич, Б., Бурыкина, Е. (2022). О контроле остаточных количеств средств санитарной обработки в контексте эффективного и безопасного применения. *Молочная промышленность*, 8, 26–28. <http://dx.doi.org/10.31515/1019-8946-2022-08-26-28>
- Manevich, B., Burykina, E. (2022). O kontrole ostatochnyh kolichestv sredstv sanitarnoj obrabotki v kontekste effektivnogo i bezopasnogo primeneniya. *Molochnaya promyshlennost'*, 8, 26–28. <http://dx.doi.org/10.31515/1019-8946-2022-08-26-28>
- Маневич, Б., & Титов, Е. (2023). Оценка смачивающих свойств пероксида водорода в контексте безопасного применения при асептическом розливе молока. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 54–65. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.21>
- Manevich B.V., Zhizhin N.A., Burykina E.A., & Titov E.N. (2023). Evaluation of hydrogen peroxide wetting properties in the context of safe application in aseptic milk filling. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2). (In Russ.) <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.21>
- Маневич, Б., & Титов, Е. (2024). Электролизные растворы в санитарной обработке: прошлое и настоящее. *Молочная промышленность*, 1, 60–63. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-1-3>
- Manevich, B., & Titov, E. (2024). Elektroliznye rastvory v sanitarnoj obrabotke: proshloe i nastoyashchee. *Molochnaya promyshlennost'*, 1, 60–63. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-1-3>
- Метлева, А., & Евстратенко, А. (2021). Антибиотико-резистентные микроорганизмы в сельском хозяйстве. *Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы* (pp. 306–310). Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия.
- Metleva, A., & Evstratenko, A. (2021). Antibiotiko-rezistentnye mikroorganizmy v sel'skom hozyajstve. *Aktual'nye nauchno-tehnicheskie sredstva i sel'skohozyajstvennyye problem* (pp. 306–310). Kuzbasskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya.
- Панкратова, Г., Бидёвкина, М., & Шайхутдинова, З. (2023). Безопасность использования в практике дезинфицирующих средств на основе гипохлорита натрия. *Дезинфекционное дело*, 1(123), 23–30. <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2023-1-23-30>
- Pankratova, G., Bidyovkina, M., & Shajhutdinova, Z. (2023). Safety of using disinfectants based on sodium hypochlorite in practice. *Disinfection Affairs*, 1(123) (In Russ.) 23–30. <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2023-1-23-30>
- Петрова, О., Барашкин, М., Мильштейн, И., Кудряшова, Е., & Колобкова, Н. (2020). Микробиологическое тестирование дезинфицирующего средства «нейтральный анолит». *Вестник биотехнологии*, (1), 20–27.
- Petrova, O., Barashkin, M., Mil'shtejn, I., Kudryashova, E., & Kolobkova, N. (2020). Mikrobiologicheskoe testirovanie dezinficiruyushchego sredstva «nejtral'nyj anolit». *Vestnik Biotekhnologii*, (1), 20–27.
- Семенихина, В. Ф. (2020). Пробиотические культуры и их свойства. *Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством*, 1(1), 481–484. <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-481-484>
- Semenihina, V. F. (2020). Probioticheskie kul'tury i ih svojstva. *Aktual'nye voprosy molochnoj promyshlennosti, mezhotraslevye tekhnologii i sistemy upravleniya kachestvom*, 1(1), 481–484. <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-481-484>
- Шестопалов, Н., Пантелеева, Л., Соколова, Н., Абрамова, И., & Лукичев, С. (2015). Федеральные клинические рекомендации по выбору химических средств дезинфекции и стерилизации для использования в медицинских организациях. Ремедиум Приволжье.
- Shestopalov, N., Panteleyeva, L., Sokolova, N., Abramova, I., & Lukichev, C. (2015). *Federal'nye klinicheskie rekomendacii po vyboru himicheskikh sredstv dezinfekcii i sterilizacii dlya ispol'zovaniya v medicinskih organizatsiyah*. Remedium Privolzhye.
- Aniyyah, M., Idhamnulhadi, Z., Shah, A., Shakirah, H., Suhaila, A., Norazlina, H., Najwa, M. (2022). Electrolysis study effect on electrolyzed water as disinfectant and sanitizer. *Journal of Physics: Conference Series*, 2266(1), 12004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2266/1/012004>
- Clayton, G. E., Thorn, R. M., & Reynolds, D. M. (2021). The efficacy of chlorine-based disinfectants against planktonic and biofilm bacteria for decentralised point-of-use drinking water. *Clean Water*, 4(1), 48. <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00139-w>
- Cui, X., Shang, Y., Shi, Z., Xin, H., & Cao, W. (2009). Physicochemical properties and bactericidal efficiency of neutral and acidic electrolyzed water under different storage conditions. *Journal of Food Engineering*, 91(4), 582–586. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.006>
- Fabrizio, K., & Cutter T. (2003). Stability of electrolyzed oxidizing water and its efficacy against cell suspensions of *Salmonella typhimurium* and *Listeria monocytogenes*. *Journal Food Protection*, 66, 1379–1384. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-66.8.1379>
- Garcia-Rodriguez, O., Mousset, E., Olvera-Vargas, H., & Lefebvre, O. (2022). Electrochemical treatment of highly

- concentrated wastewater: A review of experimental and modeling approaches from lab-to full-scale. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(2), 240–309. <https://doi.org/10.1039/D2RA02733J>
- He, Y., Zhao, X., Chen, L., Zhao, L., & Yang, H. (2021). Effect of electrolysed water generated by sodium chloride combined with sodium bicarbonate solution against *Listeria innocua* in broth and on shrimp. *Food Control*, 127, 108134. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102228>
- Kunigk, L., Schramm, L., & Kunigk, C. (2008). Hypochlorous acid loss from neutral electrolyzed water and sodium hypochlorite solutions upon storage. *Brazilian Journal Food Technology*, 11, 153–158.
- Len, S., Hung, Y., Chung, D., Anderson, J., Erickson, M., & Morita, K. (2002). Effects of storage conditions and pH on chlorine loss in electrolyzed oxidizing (EO) water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 209–212. <https://doi.org/10.1021/jf010822v>
- Mohammadi, S., & Ebadi, T. (2021). Production of a water disinfectant by membrane electrolysis of brine solution and evaluation of its quality change during the storage time. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(2), 102925. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.102925>
- Nisola, G., Yang, X., Cho, E., Han, M., Lee, C., & Chung, W. (2011). Disinfection performances of stored acidic and neutral electrolyzed waters generated from brine solution. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 46, 263–270. <https://doi.org/10.1080/10934529.2011.535428>
- Park, G., Boston, D., Kase, J., Sampson, M., & Sobsey, M. (2007). Evaluation of liquid- and fog-based application of sterilox hypochlorous acid solution for surface inactivation of human norovirus. *Applied and Environmental Microbiology*, 73, 4463–4468. <https://doi.org/10.1128/AEM.02839-06>
- Pivovarov, O., Kovalova, O., & Koshulko, V. (2022). Disinfection of marketable eggs by plasma-chemically activated aqueous solutions. *Food Science & Technology*, 16(1), 101. <https://doi.org/10.15673/fst.v16i1.2289>
- Scialdone, O., Proietto, F., & Galia, A. (2021). Electrochemical production and use of chlorinated oxidants for the treatment of wastewater contaminated by organic pollutants and disinfection. *Current Opinion in Electrochemistry*, 27, 100682. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2020.100682>
- Shi, H., Li, C., Lu, H., Zhu, J., & Tian, S. (2023). Synergistic effect of electrolyzed water generated by sodium chloride combined with dimethyl dicarbonate for inactivation of *Listeria monocytogenes* on lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(15), 7905–7913. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12884>
- Thorn, R., Lee, S., Robinson, G., Greenman, J., & Reynolds, D. (2012). Electrochemically activated solutions: Evidence for antimicrobial efficacy and applications in healthcare environments. *European Journal of Clinical Microbiology Infectious Diseases*, 31, 641–653. <https://doi.org/10.1007/s10096-011-1369-9>
- Yan, P., Daliri, E., & Oh, D. (2021). New clinical applications of electrolyzed water: A review. *Microorganisms*, 9(1), 136. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010136>

Разработка композитной цельносмолотой пшенично-конопляной муки для производства хлебобулочных изделий

И. Г. Белявская, Р. Х. Кандроков

Российский Биотехнологический
Университет, г. Москва,
Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: Композитные мучные смеси, применяемые для производства продукции повышенной пищевой ценности, способны диверсифицировать бизнес хлебопекарной отрасли. Цельносмолотая композитная пшенично-конопляная мука, являющаяся продуктом совместного помола продуктов растительного происхождения, имеет перспективы применения для производства хлебобулочных изделий здорового питания, что обуславливает необходимость проведения оценки её технологических свойств во взаимосвязи с показателями качества готовой продукции.

Целью исследования является разработка композитной цельносмолотой пшенично-конопляной муки различного состава для производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности и расширения ассортимента продуктов здорового питания.

Материалы и методы: В качестве объектов исследований использовали зерно пшеницы 4-х сортов — яровой «Радмира» и «Юбилейная» и озимых сортов «Немчиновская 85» и «Немчиновская 24» урожая 2023 года; семена конопли сорта «Сурская»; лабораторные пробы композитной цельносмолотой муки и хлебобулочных изделий, выработанные на основе композитной муки. При проведении исследований применяли ножевую мельницу, лабораторный рассев Е1-УРЛ, весы, спиральный тестомес Abat TMC, расстойный шкаф, конвекционную печь КПП-4-1/2Э. Для определения показателей качества объектов исследования использовали: инфракрасный анализатор зерна и муки SpectraStar 2500 XL, объемометр ОХЛ-2, Структурометр СТ-1, влагомер Кварц-21М, весы порционные CAS SW-5 WDD. Показатели пищевой ценности изделий определяли расчетным путем. Результаты обрабатывали методами математической статистики с использованием программ Microsoft Office и Excel 2021.

Результаты: Добавление семян конопли в помольную смесь с зерном пшеницы в количестве от 4 до 10 % оказывает влияние не только на технологические и физико-химические показатели, но и на общий выход композитной муки. Сравнение выхода композитной муки при соотношении компонентов 90:10 с аналогичным показателем цельносмолотой пшеничной муки установил его абсолютное повышение на 1,1%. Установлено, что содержание жира в образцах композитной муки возрастает с 4,4 % до 6,8 % для помольных парий с внесением 4–10 % конопли, что в 2–3,1 раза больше, чем в контрольном образце цельносмолотой муки. Содержание ПНЖК в изделиях составило для композитной муки с 10 % конопли — 5,4 г/100 г, при этом омега-3 жирных кислот – 0,8 г/100 г.

Выводы: Результаты исследования демонстрируют возможности применения композитной цельносмолотой пшенично-конопляной муки в хлебопекарном производстве в качестве источника растительного белка, омега-3 жирных кислот, минеральных веществ (магния, цинка) и витаминов (тиамина и ниацина), обеспечивая высокое содержание пищевых волокон, что позволяет расширить ассортимент продукции здорового питания и предложить потребителям обновленные продукты повышенной пищевой ценности.

Ключевые слова: хлебобулочные изделия; цельносмолотая пшенично-конопляная мука; показатели качества; пищевая ценность

Корреспонденция:
Ирина Георгиевна Белявская
E-mail: belyavskaya@mgupp.ru

Конфликт интересов:
авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 14.02.2024
Принята: 15.08.2024
Опубликована: 30.09.2024

Copyright: © 2024 Авторы



Для цитирования: Белявская, И.Г., & Кандроков, Р.Х. (2024). Разработка композитной муки из цельнозерновой пшеницы и конопли для производства хлебобулочных изделий. *FOOD METAENGINEERING*, 2(3), 54-69. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.64>

Development of Composite Whole-Ground Wheat-Hemp Flour for the Production of Bakery Products

Irina G. Belyavskaya, Roman Kh. Kandrov

Russian Biotechnological University,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: Composite flour mixtures used for the production of products of increased nutritional value are able to diversify the business of the bakery industry. Whole-ground composite wheat-hemp flour, which is a product of joint milling of plant-based products, has potential for use in the production of healthy bakery products, which necessitates the assessment of its technological properties in relation to the quality indicators of finished products.

Purpose: To develop composite whole-ground wheat-hemp flour of various compositions for the production of bakery products of increased nutritional value and expanding the range of healthy food products.

Materials and Methods: As objects of research, wheat grains of 4 varieties were used - spring "Radmira" and "Jubilee" and winter varieties "Nemchinovskaya 85" and "Nemchinovskaya 24" of the 2023 harvest; hemp seeds of the "Surskaya" variety; laboratory samples of composite whole-ground flour; laboratory samples of bakery products developed on the basis of composite flour. The production of laboratory samples of composite flour was carried out using a knife mill, seeding on laboratory sieving E1-URL. The physico-chemical parameters of the obtained flour samples were determined using the SpectaStar 2500 XL infrared grain and flour analyzer. During the trial laboratory baking, scales, a two-speed spiral dough mixer Abat TMS, a proofing cabinet, a convection oven KPP-4-1/ 2E were used. The physico-chemical parameters of the obtained wheat and hemp products were determined using: OHL-2 volume meter, Structurometr CT-1, Quartz-21M moisture analyzer, CAS SW-5 WDD portion scales. The determination of the nutritional value of bakery products was carried out by calculation. The experimental results obtained were processed using mathematical statistics methods using the Microsoft Office and Excel 2021 application software package.

Results: Addition of hemp seeds to the milling mixture with wheat grain in an amount of 4 to 10 % affects not only the technological and physicochemical parameters, but also the overall yield of composite flour. Comparison of the yield of composite flour at a component ratio of 90:10 with a similar parameter of a sample of whole-grain wheat flour established its absolute increase by 1.1 %. It was found that the fat content in the composite flour samples increases from 4.4 % to 6.8 % for milling batches with the addition of 4–10 % hemp, which is 2–3.1 times more than in the control sample of whole-grain flour. The PUFA content in the products was 5.4 g/100 g for composite flour with 10 % hemp, while omega-3 fatty acids were 0.8 g/100 g.

Conclusion: The results of the study demonstrate the potential for the use of composite whole wheat-hemp flour in bakery technology as a source of vegetable protein, omega-3 fatty acids, minerals (magnesium, zinc) and vitamins (thiamine and niacin), providing a high content of dietary fiber, which allows expanding the range of healthy food products and offering consumers updated products with increased nutritional value.

Keywords: bakery products; composite whole wheat-hemp flour; quality indicators; nutritional value

Correspondence:

Irina G. Belyavskaya

E-mail: belyavskaya@mgupp.ru

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 14.02.2024

Accepted: 15.08.2024

Published: 30.09.2024

Copyright: © 2024 The Authors



To cite: Belyavskaya, I., & Kandrov, R. (2024). Development of composite whole-ground wheat-hemp flour for the production of bakery products. *FOOD METAENGINEERING*, 2(3), 54-69. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.64>

ВВЕДЕНИЕ

Хлебопекарная промышленность, несмотря на её значительное развитие и внедрение новых технологий, сталкивается с рядом вызовов, связанных с обеспечением стабильного качества продукции, повышением её пищевой ценности и снижением производственных затрат¹. Эти проблемы особенно актуальны в условиях конкуренции и экономических трудностей, вызванных санкциями, что привело к сокращению числа производителей и повышению цен на хлебобулочные изделия (Латышева, 2023). На фоне данных вызовов поиск новых решений, направленных на использование альтернативных и более питательных видов сырья, приобретает особую важность. Исследования в этой области активно развиваются и акцентируют внимание на композитных муках с добавлением компонентов, обладающих высокой биологической ценностью (Богатырева, 2020; Alonso-Esteban, 2022; Farinon, 2020).

Современные технологии производства хлебобулочных изделий включают использование инновационных систем автоматизации и контроля, что позволяет повысить эффективность и качество продукции (Красавина, 2024; Шэнь, 2024). Однако для сохранения конкурентоспособности необходимо внедрение новых решений, направленных на повышение пищевой ценности продукции и снижение затрат на сырьё (Латышева, 2023; Савостин, 2024; Дранников, 2021; Чэнь, 2024). Одним из таких решений является использование композитной муки с добавлением семян пищевой конопли (*Cannabis sativa*). Промышленное использование этой культуры в России регламентировано законодательством (Серков, 2022), а её пищевая ценность уже подтверждена рядом исследований (Галушина, 2021; Воршева, 2023; El-Sohaimy, 2022).

Семена конопли отличаются высоким содержанием белка (до 25 %) с полноценным аминокислотным составом и полиненасыщенных жирных кислот, включая омега-3 и омега-6 (Григорьев, 2019; El-Sohaimy, 2022; Ушаповский, 2022). Продукты, обогащенные конопляной мукой, могут улучшить содержание белков, антиоксидантов и жирных кислот в хлебобулочных изделиях (Alonso-Esteban, 2022; Farinon, 2020; Илларионова, 2014). Антиоксидантные свойства и высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот в конопле де-

лают её перспективным ингредиентом для обогащения хлебобулочных изделий (Бакин, 2016; Бубнова, 2020; Коломникова, 2016; Шахрай, 2021).

Несмотря на обширные исследования, посвящённые отдельным компонентам конопли, комплексное изучение применения пшенично-конопленной композитной муки в хлебопекарном производстве остаётся недостаточно изученным. В частности, отсутствуют данные об оптимальных пропорциях смеси, влиянии на органолептические и технологические характеристики продукции, а также о рентабельности её использования в промышленном масштабе. Таким образом, существует пробел в знании, касающийся комплексного исследования свойств композитной пшенично-конопленной муки и её влияния на качество хлебобулочных изделий.

Цель текущего исследования заключается в разработке композитной цельносмолотой пшенично-конопленной муки различного состава для производства хлебобулочных изделий с повышенной пищевой ценностью и расширением ассортимента продуктов здорового питания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

В качестве объектов исследований использовали зерно пшеницы 4-х сортов — яровой «Радмира» и «Юбилейная» и озимых сортов «Немчиновская 85» и «Немчиновская 24» урожая 2023 года; семена конопли сорта «Сурская»; лабораторные пробы композитной цельносмолотой муки; лабораторные пробы хлебобулочных изделий, выработанные на основе композитной муки. Основные показатели качества исходных проб зерна яровой и озимой пшеницы представлены в Таблице 1.

Оборудование и процедура исследования

Исследования проводили в лабораторных условиях кафедры «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» РОСБИОТЕХ. Для проведения лабораторных помолов составили пшеничную смесь из представленных четырех проб пшеницы в равной пропорции по 25 % каждого сорта. В качестве гидротермической обработки зерна пшеницы перед помолом применяли способ

¹ Кацнельсон, Ю.М. (2024). Рынок хлеба насыщен. Каким он будет завтра? Империя холода, 5, 46-48.

Таблица 1
Показатели качества исходных образцов зерна яровой и озимой пшеницы

Table 1
Quality Indicators of Initial Samples of Spring and Winter Wheat Grain

Наименование показателей качества зерна пшеницы	Значение показателей качества пшеницы			
	яровой сорта		озимой сорта	
	Радмира	Юбилейная	Немчиновская 85	Немчиновская 24
Набухаемость, %	136,3 ± 0,4	134,4 ± 0,5	137,7 ± 0,4	137,7 ± 0,5
Масса 1000 зерен, г	28,86 ± 0,05	35,92 ± 0,05	31,04 ± 0,05	48,46 ± 0,05
Натура, г/л	722,8 ± 1,0	718,2 ± 1,0	599,7 ± 1,0	738,4 ± 1,0
Влажность, %	13,3 ± 0,5	12,1 ± 0,5	13,2 ± 0,5	13,9 ± 0,5
Массовая доля сырого протеина, %	9,89 ± 0,5	11,7 ± 0,7	12,9 ± 0,4	13,14 ± 0,9
Содержание клейковины, %	24,91 ± 1,4	19,95 ± 1,6	23,2 ± 1,5	22,93 ± 1,8
Качество клейковины, ед. пр. ИДК	83,2 ± 1,8	81,0 ± 1,6	74,4 ± 1,5	75,5 ± 1,9
Зольность, %	1,89 ± 0,05	1,68 ± 0,05	1,73 ± 0,05	1,79 ± 0,05
Число падения, с	426 ± 15	353 ± 15	352 ± 13	361 ± 14
Кислотность, %	2,8 ± 0,4	2,8 ± 0,4	3,4 ± 0,4	2,4 ± 0,2

холодного кондиционирования с увлажнением помольной пшеничной смеси до расчетной влажности 16,0% и отволаживанием в течение 16 часов. Семена конопли добавляли в подготовленную пшеницу перед измельчением на ножевой мельнице лабораторного помола с частотой 25000 оборотов в минуту. Режимы измельчения на лабораторной мельнице для всех образцов пшенично-конопляных помольных смесей, в т.ч. и контрольного образца пшеницы, оставались неизменными.

Просеивание промежуточных продуктов помола контрольного образца пшеницы и пшенично-конопляных помольных смесей различного соотношения, а также высевание муки осуществляли на лабораторном расसेве Е1-УРЛ. Физико-химические показатели полученных пшенично-конопляных изделий определяли на: объеметр ОХЛ-2, Структурометр СТ-1, анализатор влажности Кварц-21М, весы порционные CAS SW-5 W DD.

Химические и физико-химические показатели полученных образцов композитной цельносмолотой пшенично-конопляной муки различного соотношения и контрольной пшеничной муки определяли на инфракрасном анализаторе SpectraStar 2500 XL.

При проведении исследований по определению влияния различного соотношения помольной смеси зерна пшеницы и семян конопли на хлебопекарные свойства проводили пробные лабораторные выпечки пшенично-конопляного хлеба из лабораторных проб композитной муки

с различным количеством конопли пищевой. Контролем служила проба цельносмолотой пшеничной муки.

Технология приготовления хлебобулочных изделий включала следующие этапы: подготовка сырья — мука просеивали, готовили солевой раствор и дрожжевую суспензию, все компоненты отмеривали согласно рецептуре. Количество воды, рассчитывали исходя из влажности теста — 49,0%. Рецептура образцов хлебобулочных изделий представлена в Таблице 2.

Таблица 2
Рецептура пшеничного хлеба и пшенично-конопляного хлеба различного соотношения

Table 2
Formulation of Wheat Bread and Wheat-Hemp Bread with Various Ratios

Наименование компонента рецептуры	Количество компонента, %
Мука (контрольная или композитная)	100
Соль пищевая	1,0
Дрожжи прессованные	2,5
Вода питьевая	по расчету

В дежу тестомесильной машины закладывали все сырье, начинали замес на первой скорости двухскоростного спирального тестомеса Abat TMC, который продол-

И. Г. Белявская, Р. Х. Кандроков

жался 4 минуты, далее скорость повышали до второй и тесто замешивали еще 4 минуты. Таким образом, продолжительность замеса составляла 8 минут. Вымешанное тесто помещали в контейнер и отправляли на брожение в течение 150 минут при температуре $30 \pm 2^\circ\text{C}$, при этом через каждый час производили обминку тестовой заготовки. Выброженное тесто делили по 400 г для формового хлеба и по 200 г для подового хлеба и формовали тестовые заготовки, которые отправляли на окончательную расстойку в расстойный шкаф до готовности при температуре $38 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздушной среды 80%. Уровень влажности в расстойном шкафу обеспечивала система пароувлажнения при помощи ёмкости с водой, расположенной внизу рабочей камеры, а также равномерная циркуляция воздуха внутри расстойного шкафа. Выпечку тестовых заготовок из контрольной пшеничной муки и пшенично-конопляной муки различного соотношения проводили в конвекционной печи КПП-4-1/2Э. Готовые тестовые заготовки отправляли в печь, выпечку проводили при температуре $210 \pm 10^\circ\text{C}$, продолжительность выпечки для формового хлеба составила 25 минут, для подового хлеба — 20 минут. Хлебобулочные изделия охлаждали при температуре $25 \pm 2^\circ\text{C}$ и определяли показатели качества.

Для определения физико-химических показателей пшенично-конопляных изделий определяли на: объеметр ОХЛ-2, Структурометр СТ-1, анализатор влажности Кварц-21М, весы порционные CAS SW-5 W DD. Определение показателей пищевой ценности хлебобулочных изделий проводили расчетным путем.

В лабораторных условиях реализовали дизайн исследования, включающий два этапа. На первом осуществляли лабораторные помолы цельносмолотой пшенично-конопляной муки с различным соотношением растительных компонентов. На втором этапе проводили пробные лабораторные выпечки для определения технологических показателей качества полученных проб композитной муки и оценки органолептических, физико-химических характеристик, а также показателей пищевой ценности изделий.

Анализ данных

Полученные экспериментальные результаты обрабатывали методами математической статистики с использованием программы STATISTICA и инструмента MS Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка качества композитной
цельносмолотой пшенично-конопляной
муки и отрубей при различных пропорциях
помольной смеси

На первом этапе исследований проведены лабораторные помолы пшенично-конопляных зерновых помольных смесей в соотношениях 96:4, 94:6, 92:8 и 90:10 с получением композитной цельносмолотой пшенично-конопляной муки и пшенично-конопляных отрубей. Добавление в помольную пшенично-конопляную смесь больше 10% семян конопли не рекомендуется в связи с тем, что происходит налипание промежуточных продуктов измельчения пшенично-конопляной смеси на измельчающие ножи и забивание просеивающих сит из-агломерирующей способности частиц композитной муки, обусловленное наличием жира в семенах конопли. Полученные экспериментальные данные выходов цельносмолотой пшенично-конопляной муки различного соотношения и пшенично-конопляных отрубей представлены в Таблице 3.

Таблица 3
Выход цельносмолотой пшеничной и пшенично-конопляной муки различного соотношения и пшенично-конопляных отрубей

Соотношения пшеницы и конопли	Выход продукта (муки и отрубей), %			
	Фракция	1 про- пуск	2 про- пуск	Всего
100:0 (контроль)	Проход	81,7	12,1	93,8
	Сход	18,3	6,2	6,2 (отруби)
96:4	Проход	82,2	12,0	94,1
	Сход	17,8	5,9	5,9 (отруби)
94:6	Проход	82,5	11,9	94,4
	Сход	17,5	5,6	5,6 (отруби)
92:8	Проход	82,7	11,9	94,6
	Сход	17,3	5,4	5,4 (отруби)
90:10	Проход	82,8	12,1	94,9
	Сход	17,2	5,1	5,1 (отруби)

И. Г. Белявская, Р. Х. Кандроков

Определяли влияние содержания конопли в помольной пшенично-конопляной зерновой смеси на химические и физико-химические свойства отдельных потоков композитной пшенично-конопляной муки в сравнении с контрольной пшеничной мукой. Полученные данные представлены в Таблице 4.

Проводили определение пищевой ценности полученных образцов контрольной пшеничной и композитной пшенично-конопляной муки, результаты которых представлены на Рисунке 1.

Таблица 4
Физико-химические и технологические показатели лабораторных проб композитной цельносмолотой пшенично-конопляной муки

Наименование показателя	Значение показателей качества композитной муки при соотношении пшеницы и конопли, %				
	100:0 контроль	96:4	94:6	92:8	90:10
Зола, %	1,65 ± 0,09	1,96 ± 0,07	2,11 ± 0,07	2,5 ± 0,09	2,62 ± 0,10
Клетчатка, %	1,23 ± 0,05	1,19 ± 0,05	1,12 ± 0,05	1,2 ± 0,05	1,2 ± 0,05
Пищевые волокна, %	11,0 ± 0,5	10,9 ± 0,5	10,8 ± 0,5	10,7 ± 0,5	10,6 ± 0,5
Влажность, %	13,7 ± 0,5	13,6 ± 0,5	13,8 ± 0,5	12,5 ± 0,5	12,2 ± 0,5
Белизна, ед. пр.	19,1 ± 0,6	18,8 ± 0,5	15,4 ± 0,6	11,3 ± 0,7	10,2 ± 0,4
Количество клейковины, %	23,7 ± 0,5	20,47 ± 0,6	19,87 ± 0,4	17,96 ± 0,5	17,16 ± 0,4
Качество клейковины, ед. ИДК	63,7 ± 1,5	56,7 ± 1,5	58,2 ± 1,5	59,1 ± 1,5	63,5 ± 1,5
Число падения, с	310 ± 7	308 ± 8	305 ± 7	298 ± 7	289,5 ± 6

Рисунок 1
Влияние содержания конопли в помольной смеси на пищевую ценность цельносмолотой пшенично-конопляной муки

Figure 1
Effect of Hemp Content in the Milling Blend on the Nutritional Value of Whole-Milled Wheat-Hemp Flour

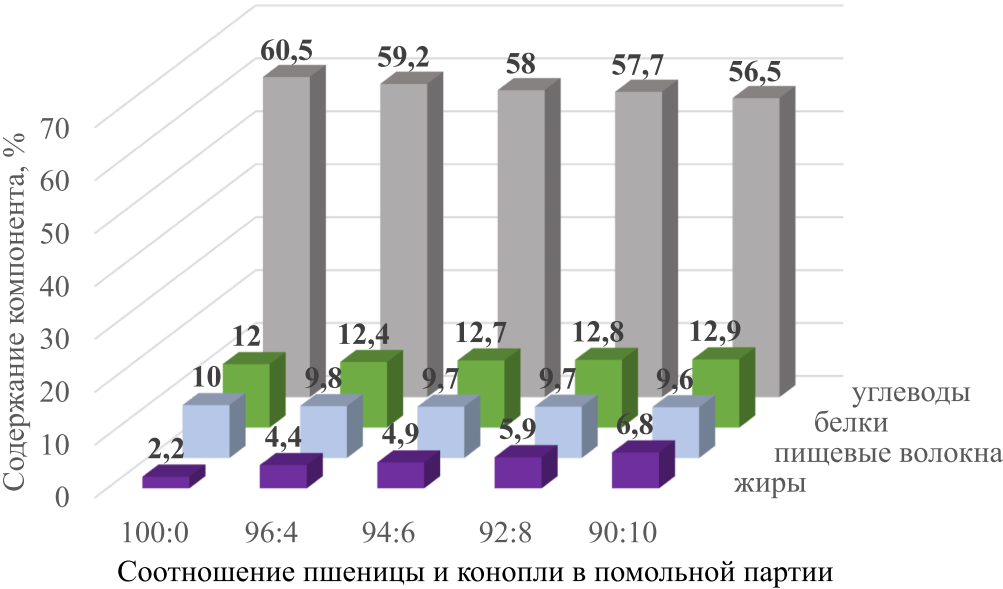


Таблица 5
Показатели пищевой ценности пшеничных и пшенично-конопляных отрубей

Table 5
Nutritional Value Indicators of Wheat and Wheat-Hemp Bran

Наименование показателя	Значение показателей качества отрубей при соотношении пшеницы и конопли в помольной партии, %				
	100:0	96:4	94:6	92:8	90:10
Содержание жира, %	3,53 ± 0,05	4,06 ± 0,05	4,10 ± 0,05	4,26 ± 0,05	4,31 ± 0,05
зола, %	5,25 ± 0,15	5,42 ± 0,15	5,98 ± 0,15	6,13 ± 0,15	6,41 ± 0,15
клетчатки	43,12 ± 0,43	45,16 ± 0,50	45,02 ± 0,61	46,19 ± 0,49	47,08 ± 0,52
белка, %	12,53 ± 0,25	14,42 ± 0,25	14,87 ± 0,17	15,06 ± 0,25	15,48 ± 0,25
влаги, %	14,2 ± 0,15	13,36 ± 0,16	12,18 ± 0,18	12,26 ± 0,14	11,83 ± 0,14
магния, %	0,41 ± 0,01	0,42 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,42 ± 0,01
фосфора, %	0,92 ± 0,02	0,91 ± 0,02	0,91 ± 0,02	0,92 ± 0,02	0,93 ± 0,02

Отруби — побочный продукт производства муки также обладают питательной ценностью и при установлении показателей безопасности могут использоваться в пищевых технологиях. Результаты определения показателей пищевой ценности пшеничных и пшенично-конопляных отрубей, полученных при различном соотношении компонентов помольной смеси представлены в Таблице 5.

Анализ полученных результатов установил повышение содержания белка, жира и минеральных веществ при снижении показателя влажности полученных отрубей от содержания конопли в помольной партии. После заключения о безопасности полученных продуктов их применение возможно для разработки новой пище-

вой продукции и повышения показателей питательной ценности комбикормов.

Оценка качества хлебобулочных изделий из композитной пшенично-конопляной муки разных составов

На втором этапе исследований определены хлебопекарные свойства лабораторных образцов композитной пшенично-конопляной муки с различным соотношением компонентов в сравнении с контрольным.

В ходе проведения получены образцы формовых и подовых пшенично-конопляных хлебобулочных изделий, которые представлены на Рисунках 2–4. Органолепти-

Рисунок 2
Образцы формовых хлебобулочных изделий, приготовленных из контрольной и композитной муки

Figure 2
Samples of Molded Baked Goods Made from Control and Composite Flour



Рисунок 3
Образцы подовых хлебобулочных изделий из композитной муки

Figure 3
Samples of Hearth Baked Goods Made from Composite Flour



Рисунок 4
Образцы формовых хлебобулочных изделий из композитной муки в разрезе

Figure 4
Cross-Section of Molded Baked Goods Made from Composite Flour



ческие показатели хлебобулочных изделий, являющиеся показателями, характеризующим потенциальные потребительские способности разрабатываемой продукции, представлены в Таблице 6.

Таблица 6
Показатели проб хлебобулочных изделий из пшеничной и композитной пшенично-конопляной муки

Table 6
Indicators of Baked Goods Samples Made from Wheat and Composite Wheat-Hemp Flour

Наименование показателя	Характеристика показателей хлебобулочных изделий, приготовленных из композитной муки при соотношении пшеницы и конопли в помольной партии, %				
	100:0	96:4	94:6	92:8	90:10
Внешний вид:					
— правильность формы	правильная с подрывом	правильная	правильная	правильная	правильная
— поверхность	достаточно гладкая	гладкая, однородная	гладкая, однородная	гладкая, однородная	гладкая, однородная
— цвет	светло-желтый	светло-коричневый, равномерный	светло-коричневый, равномерный	светло-коричневый, равномерный	светло-коричневый, равномерный

И. Г. Белявская, Р. Х. Кандроков

Наименование показателя	Характеристика показателей хлебобулочных изделий, приготовленных из композитной муки при соотношении пшеницы и конопли в помольной партии, %				
	100:0	96:4	94:6	92:8	90:10
Состояние мякиша:					
— пропеченность	пропеченный	пропеченный	пропеченный	пропеченный	пропеченный
— липкость	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует
— промес	без следов непромеса	без следов непромеса	без следов непромеса	без следов непромеса	без следов непромеса
— пористость	достаточно однородная, достаточно равномерная	достаточно однородная, достаточно равномерная	достаточно однородная, достаточно равномерная	достаточно однородная, достаточно равномерная	достаточно однородная, достаточно равномерная
— эластичность	хорошая	хорошая	хорошая	хорошая	хорошая
— цвет	темный, равномерный, сероватый	темный, серовато-коричневый	темный, серовато-коричневый	темный, серовато-коричневый	темный, серовато-коричневый
Хруст	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Вкус	хлебный, свойственный изделию	хлебный, свойственный изделию с отрубями, с легким послевкусием	хлебный, свойственный изделию с отрубями, с легким послевкусием	хлебный, свойственный изделию с отрубями, с послевкусием	хлебный, свойственный изделию с отрубями, с выраженным послевкусием
Запах	хлебный, свойственный изделию	хлебный, свойственный изделию с легким ароматом	хлебный, свойственный изделию с легким травяным ароматом	хлебный, свойственный изделию с легким травяным ароматом	хлебный, свойственный изделию с легким травяным ароматом

Результаты проведенных определений физико-химических показателей образцов хлебобулочных изделий, приготовленных в лабораторных условиях из цельносмолотой муки, представлены в Таблице 7.

Результаты расчетов пищевой ценности хлебобулочных изделий, представленные в Таблице 8, дают представление о рациональности добавления в помольную смесь семян конопли и использовании полученной пшенично-конопляной муки для производства обогащенных хлебобулочных изделий.

Таблица 7
Физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий

Table 7
Physicochemical Quality Indicators of Baked Goods

Показатели качества хлебобулочного изделия	Значение показателей качества изделий, приготовленных из муки при соотношении пшеницы и конопли в помольной партии, %				
	100:0	96:4	94:6	92:8	90:10
Объем, мл	1015 ± 5	1005 ± 5	995 ± 5	1050 ± 5	1035 ± 5
Масса, г	351 ± 1	353 ± 1	359 ± 1	352 ± 1	356 ± 1
Удельный объем, см3/г	2,89 ± 0,15	2,84 ± 0,16	2,77 ± 0,15	2,98 ± 0,15	2,90 ± 0,17
Пористость, %	71,5 ± 0,5	72,5 ± 0,5	71,5 ± 0,5	74,0 ± 0,5	73,0 ± 0,5
Формоустойчивость (H/D)	—	0,50 ± 0,04	0,51 ± 0,05	0,55 ± 0,06	0,59 ± 0,08
Кислотность мякиша, град	4,1 ± 0,2	4,2 ± 0,2	4,2 ± 0,2	4,6 ± 0,2	4,8 ± 0,2
Влажность, %	45,4 ± 0,5	45,2 ± 0,5	44,8 ± 0,6	44,5 ± 0,5	43,8 ± 0,5
Структурные показатели мякиша, мм					
Общая деформация	12,1 ± 0,17	9,45 ± 0,14	9,48 ± 0,16	12,53 ± 0,14	11,09 ± 0,16
Упругая деформация	10,05 ± 0,15	7,85 ± 0,13	7,00 ± 0,16	9,14 ± 0,17	8,14 ± 0,15
Пластическая деформация	2,05 ± 0,15	1,6 ± 0,14	2,48 ± 0,16	3,39 ± 0,16	2,95 ± 0,16

Таблица 8
Показатели пищевой ценности хлебобулочных изделий
Table 8
Nutritional Value Indicators of Baked Goods

Наименование показателя	Значение показателя для хлебобулочных изделий, приготовленных из муки при соотношении пшеницы и конопли в помольной партии, %				
	100:0	96:4	94:6	92:8	90:10
Белки, г	8,2	8,4	8,5	8,7	8,8
Жиры, г	1,5	2,8	3,4	4,0	4,6
ПНЖК, г	0,7	1,7	2,2	2,7	3,1
Углеводы, г	40,5	39,3	38,8	38,2	37,7
МДС, г	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Пищевые волокна, г	7,3	7,2	7,2	7,1	7,1
Минеральные вещества, мг:					
Натрий (Na)	270	268	268	267	266
Калий (K)	238	236	236	234	233
Кальций (Ca)	41	42	42	43	43
Магний (Mg)	74	90	98	105	113
Фосфор (P)	257	274	282	290	298
Железо (Fe)	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9
Цинк (Zn)	1,44	1,64	1,75	1,85	1,94
Марганец (Mn)	1,04	1,54	1,63	1,7	1,74
Витамины, мг:					
Тиамин (B1)	0,31	0,33	0,34	0,35	0,36
Рибофлавин (B2)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Ниацин (PP)	3,78	3,87	3,92	3,97	4,02
Энергетическая ценность, ккал	210	220	220	220	230

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведённых исследований подтверждают, что добавление семян конопли в помольные смеси с зерном пшеницы оказывает значительное влияние на технологические и физико-химические показатели композитной муки, а также на общий выход конечного продукта. Исследования показали, что выход цельносмолотой пшенично-конопляной муки увеличи-

вается с увеличением содержания конопли в смеси, в то время как выход отрубей уменьшается. Например, при соотношении компонентов 90:10 наблюдается повышение выхода композитной муки на 1,1 % по сравнению с чисто пшеничной мукой (Таблица 3). Этот результат согласуется с данными Воршевой (2023), подтверждающими стабилизацию свойств композитной муки при включении конопли в помольные смеси.

Физико-химический анализ показал снижение показателя белизны муки на 9 единиц при добавлении 10 % конопли, что объясняется изменением состава и увеличением содержания пигментов в семенах конопли. Показатели клейковины при этом оставались стабильными, что важно для сохранения реологических свойств теста. Это указывает на возможность использования композитной муки с добавлением конопли при сохранении требуемых хлебопекарных свойств, что подтверждается результатами пробных лабораторных выпечек (Таблицы 6–7, Рисунки 2–4).

Наблюдалось снижение влажности композитной муки с увеличением содержания конопли, что связано с пониженной влажностью семян и присутствием гидрофобных триацилглицеридов. Одновременно наблюдалось повышение зольности и содержания пищевых волокон, что обусловлено богатым витаминно-минеральным составом конопли (Григорьев, 2019; El-Sohaimy, 2022). Содержание жиров в композитной муке увеличилось с 4,4 % до 6,8 %, что превышает показатели чисто пшеничной муки в 2–3,1 раза и обусловлено высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) (Аль-Сухайми, 2022). Присутствие омега-3 жирных кислот (0,8 г/100 г в муке с 10 % конопли) является отличительной характеристикой данной муки, что подтверждается исследованиями Илларионовой (2014).

Анализ содержания белка показал его увеличение в диапазоне от 12,4 % до 12,9 %, что на 3,3–7,5 % выше, чем в контрольной муке. При этом содержание углеводов снижалось на 2,1–6,6 %, что делает муку более подходящей для создания продуктов с пониженной калорийностью. Это согласуется с данными Farinon (2020) и подтверждает потенциал использования семян конопли для обогащения хлебобулочных изделий.

Результаты органолептических испытаний показали, что хлебобулочные изделия, приготовленные из муки с добавлением 8–10 % семян конопли, отличались

И. Г. Белявская, Р. Х. Кандроков

высоким удельным объемом и формоустойчивостью, а также имели равномерно окрашенную корочку и развитую пористость мякиша (Таблицы 8–9). Эти результаты подтверждают возможность использования пшенично-конопляной муки для создания функциональных хлебобулочных изделий (Воршева, 2023).

Таблица 9
Степень удовлетворения среднесуточной потребности в основных пищевых веществах при употреблении хлебобулочных изделий

Наименование показателя	Степень удовлетворения показателя при употреблении хлебобулочных изделий, приготовленных из муки при соотношении пшеницы и конопли в помольной партии, %				
	100:0	96:4	94:6	92:8	90:10
Белки	10,9	11,2	11,3	11,6	11,7
Жиры	1,8	3,4	4,1	4,8	5,5
ПНЖК	6,4	15,8	20,0	24,5	28,2
Углеводы	11,1	10,8	10,6	10,5	10,3
МДС	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Пищевые волокна	29,2	28,8	28,8	28,4	28,4
Минеральные вещества:					
Натрий (Na)	20,8	20,6	20,6	20,5	20,5
Калий (K)	6,8	6,7	6,7	6,7	6,7
Кальций (Ca)	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3
Магний (Mg)	17,6	21,4	23,3	25,0	26,9
Фосфор (P)	36,7	39,1	40,3	41,4	42,6
Железо (Fe)	37,0	38,0	38,0	38,0	39,0
Цинк (Zn)	12,0	13,7	14,6	15,4	16,2
Марганец (Mg)	52,0	77,0	81,5	85,0	87,0
Витамины:					
Тиамин (B1)	22,1	23,6	24,3	25,0	25,7
Рибофлавин (B2)	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Ниацин (PP)	21,0	21,5	21,8	22,1	22,3
Энергетическая ценность	8,3	8,6	8,8	8,9	9,1

Пищевая ценность изделий из композитной муки была выше по содержанию белков, фосфора, кальция, магния, железа и витаминов (на 4,9–35 % выше по отдельным компонентам). Содержание омега-3 жирных кислот позволяло отнести хлеб к изделиям с высоким содержанием ПНЖК (ГОСТ Р 55577). Ограничения текущего исследования связаны с применением пшеницы со средними хлебопекарными свойствами, что требует дальнейших исследований влияния сортовых особенностей на характеристики конечного продукта.

Ограничения исследования

Настоящее исследование имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации его результатов и планировании дальнейших исследований. Во-первых, в работе использовались зерновые смеси на основе пшеницы со средними хлебопекарными свойствами, что могло повлиять на результаты оценки качества композитной муки. Это ограничивает возможность обобщения выводов для всех сортов пшеницы и подчеркивает необходимость дополнительных исследований с использованием пшеницы различного качества для определения оптимальных условий производства. Во-вторых, технология помола и приготовления теста была адаптирована для лабораторных условий, что может отличаться от производственных условий на промышленных предприятиях. Применение результатов в промышленных масштабах требует дальнейшей проверки и адаптации технологий для обеспечения воспроизводимости полученных данных. Третье ограничение связано с осведомленностью и восприятием потребителей. Разработка хлебобулочных изделий с добавлением семян конопли, несмотря на их высокую пищевую ценность, может столкнуться с ограничением спроса из-за недостаточной информированности потребителей о пользе таких продуктов. Кроме того, возможные индивидуальные реакции, такие как аллергия или непереносимость компонентов семян конопли, могут повлиять на принятие данных изделий рынком. Наконец, исследование не охватывает долгосрочные показатели стабильности и хранения продукции, что требует дополнительных тестов для оценки сохранности функциональных и органолептических свойств хлебобулочных изделий с использованием композитной муки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расширение ассортимента продуктов здорового питания, включая хлебобулочные изделия, является важным условием повышения эффективности промышленных перерабатывающих предприятий. Одним из ключевых направлений совершенствования технологий переработки зерновых культур, в частности пшеницы, является производство композитной муки с использованием перспективных видов возобновляемого растительного сырья, таких как пищевая конопля. Результаты проведенных исследований подтверждают, что добавление семян конопли в помольные смеси улучшает физико-химические и технологические свойства композитной цельносмолотой муки и способствует увеличению её общего выхода.

Полученные данные показывают, что разработанная пшенично-конопляная мука может быть позиционирована как источник омега-3 жирных кислот, минеральных веществ и витаминов, а также как продукт с высоким содержанием пищевых волокон. Эти свойства делают её привлекательной для использования в производстве продукции здорового питания. Применение композитной муки позволяет обеспечить высокие органолептические и физико-химические характеристики хлебобулочных изделий, что подтверждается результатами пробных лабораторных выпечек.

Технологические испытания образцов композитной муки показали их высокую пригодность для использования в различных технологиях хлебопекарного производства. Пищевая ценность разработанных хлебобулочных изделий демонстрирует их функциональные свойства, что позволяет расширить ассортимент продукции для здорового питания и предложить потребителям новые продукты с улучшенной пищевой ценностью.

Дальнейшие направления исследований включают разработку новых видов продукции с использованием композитной муки, таких как мучные кондитерские и злаковые изделия, а также моделирование новых технологических и пищевых свойств продукции. Это может быть достигнуто за счёт фракционирования компонентов, применения термопластичной и инфракрасной обработки и других методов формирования свойств, что открывает возможности для использования этих продуктов в рационе здорового и специализированного питания населения России и других стран.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Ирина Георгиевна Белявская: формулирование идеи; разработка методологии исследования, формальный анализ; проведение исследования, написание рукописи; рецензирование и редактирование.

Роман Хажсетович Кандроков: формулирование исследовательских целей и задач; создание модели исследования; руководство исследовательским проектом; проведение исследования; написание рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Irina G. Belyavskaya: ideas; design of methodology, formal analysis, investigation; original draft preparation; writing, review & editing.

Roman Kh. Kandrov: formulation of research goals and aims; creation of a research model; research project management; investigation; preparation of the published work.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Аль-Сухайми, С. А., Тошев, А. Д., & Андросова, Н. В. (2022). Исследование качественных показателей хлебобулочных изделий функциональной направленности с добавлением продуктов переработки растительного сырья. *Вестник КрасГАУ*, 8(185), 180–186. <http://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-8-180-186>
- Al-Suhaimi, S. A., Toshev, A. D., & Androsova, N. V. (2022). Study of quality indicators of functional bakery products with the addition of processed plant materials. *Vestnik KrasSAU*, 8(185), 180–186. <http://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-8-180-186>
- Бакин, И. А., Мустафина, А. С., & Колбина, А. Ю. (2016). Изучение технологических аспектов использования нетрадиционного сырья в производстве булочных изделий. *Вестник КрасГАУ*, 12, 17–24.
- Bakin, I. A., Mustafina, A. S., & Kolbina, A. Yu. (2016). Study of technological aspects of using non-traditional raw materials in the production of bakery products. *Vestnik KrasSAU*, 12, 17–24.
- Бань, М. Ф. (2019). Обзор нетрадиционных видов муки и исследование возможности их использования в рецептурах мучных кондитерских изделий. *Потребительская кооперация*, 3(66), 78–81.
- Ban, M. F. (2019). Review of non-traditional types of flour and study of the possibility of their use in flour confectionery recipes. *Consumer Cooperation*, 3(66), 78–81.
- Воршева, А. В., Багнавец, Н. Л., Григорьева, М. В., & Белопухов, С. Л. (2023). Оценка возможности использования конопляной муки в хлебопечении. *АгроЭкоИнфо*, 3(57), 1–10.
- Vorshева, A. V., Bagnavets, N. L., Grigorieva, M. V., & Belopukhov, S. L. (2023). Evaluation of the possibility of using hemp flour in bakery. *AgroEcolInfo*, 3(57), 1–10.
- Витол, И. С., & Мелешкина, Е. П. (2024). Композитные виды муки. Часть 1. Обогащение пшеничной муки злаковыми, бобовыми и масличными культурами (обзор). *Пищевая промышленность*, (4), 27–34. <http://doi.org/10.52653/PPI.2024.4.4.005>
- Vitol, I. S., & Meleshkina, E. P. (2024). Composite types of flour. Part 1. Fortification of wheat flour with cereals, legumes, and oilseeds (review). *Food industry*, (4), 27–34. <http://doi.org/10.52653/PPI.2024.4.4.005>
- Бубнова, А. А. (2020). Использование семян посевной конопли в специализированных пищевых продуктах. *Хлебопродукты*, (7), 48–50. <http://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-7-48-50>
- Bubnova, A. A. (2019). Use of hemp seeds in specialized food products. *Khleboprodukty*, (7), 48–50. <http://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-7-48-50>
- Богатырева, Т. Г., Белявская, И. Г., & Муратова, А. А. (2021). Обогащение хлебобулочных изделий с использованием нетрадиционного растительного сырья. *Хлебопродукты*, (6), 48–49. <http://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-6-48-49>
- Bogatyreva, T. G., Belyavskaya, I. G., & Muratova, A. A. (2021). Fortification of bakery products using non-traditional plant raw materials. *Khleboprodukty*, (6), 48–49. <http://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-6-48-49>
- Галушина, П. С. (2021). Опыт применения семян конопли в продуктах питания. *Тенденции развития науки и образования*, 79(6), 153–156. <http://doi.org/10.18411/trnio-11-2021-278>
- Galushina, P. S. (2021). Experience in the use of hemp seeds in food products. *Trends in the Development of Science and Education*, 79(6), 153–156. <http://doi.org/10.18411/trnio-11-2021-278>
- Григорьев, С. В., Шеленга, Т. В., & Илларионова, К. В. (2019). Масла конопли и хлопчатника образцов коллекции ВИР как источник функциональных пищевых ингредиентов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 180(2), 38–43. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-38-43>
- Grigoriev, S. V., Shelenga, T. V., & Illarionova, K. V. (2019). Hemp and cottonseed oils from VIR collection as a source of functional food ingredients. *Transactions on Applied Botany, Genetics and Selection*, 180(2), 38–43. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-38-43>
- Дранников, А. В., Шевцов, А. А., Пономарева, Е. И., Засыпкин, Н. В., & Логунова Л. В. (2021). Пароэжекторный тепловой насос как источник альтернативной энергии в технологии хлебобулочных изделий. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 83(3), 21–29. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-3-23-29>
- Drannikov, A. V., Shevtsov, A. A., Ponomareva, E. I., Zasyepkin, N. V., & Logunova, L. V. (2021). Steam jet heat pump as an alternative energy source in bakery technology. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 83(3), 21–29. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-3-23-29>
- Зубцов, В. А., Ефремов Д. П., & Зубцова Е. В. (2018). Гидроколлоиды семян льна и конопли в функциональных и специализированных пищевых продуктах. *Актуальная биотехнология*, 1(26), 369–373.

- Zubtsov, V. A., Efremov, D. P., & Zubtsova, E. V. (2018). Flax and hemp seed hydrocolloids in functional and specialized food products. *Actual Biotechnology*, 1(26), 369–373.
- Илларионова К. В., & Григорьев С. В. (2014). Изменчивость свойств конопляного масла различного происхождения. *Международный технико-экономический журнал*, (6), 80–83.
- Illarionova K. V., & Grigoriev S. V. (2014). Variability of properties of hemp oil of different origin. *The International Technical-Economic Journal*, (6), 80–83.
- Коломникова, Я. П., Литвинова, Е. В., Анохина, С. И., & Текутьева, Ю. А. (2016). Использование нетрадиционного сырья при производстве безглютеновых мучных и кулинарных изделий с целью повышения пищевой ценности. *Актуальная биотехнология*, 1(16), 45–48.
- Kolomnikova, Ya. P., Litvinova, E. V., Anokhina, S. I., & Tekutyeva, Yu. A. (2016). Use of non-traditional raw materials in the production of gluten-free flour and culinary products to improve nutritional value. *Actual Biotechnology*, 1(16), 45–48.
- Панкратов Г. Н., Мелешкина Е. П., Витол И. С., Кечкин И. А., & Коломиец С. Н. (2022). Технологические показатели новых сортов трехкомпонентной муки. *Пищевая промышленность*, (5), 16–19. <http://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.004>
- Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kechkin, I. A., & Kolomiets, S. N. (2022). Technological indicators of new varieties of three-component flour. *Food Industry*, (5), 16–19. <http://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.004>
- Кандроков, Р. Х. (2023). Способ получения цельносмолотой пшенично-конопленной муки (Патент РФ № 2 810 097). РОСБИОТЕХ. <https://patents.ru/patentnumber=2810097>
- Kandrokov, R. Kh. (2023). Method for obtaining whole-milled wheat-hemp flour (Russian Patent No. 2,810,097). ROSBIOTEKH" <https://patents.ru/patentnumber=2810097>
- Кандроков, Р. Х., Терентьев, С. Е., Лабутина, Н. В., Кусова, И. У., & Рындин, А. А. (2021). Влияние соотношения помольной смеси зерна пшеницы и семян конопли на крупобразующую способность пшенично-конопленной зерновой смеси. *Хлебопродукты*, (10), 41–43. <http://dx.doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-10-41-43>
- Kandrokov, R. Kh., Terentyev, S. E., Labutina, N. V., Kusova, I. U., & Ryndin, A. A. (2021). The effect of the ratio of the milling mixture of wheat grain and hemp seeds on the grain-forming capacity of the wheat-hemp grain mixture. *Khleboпродукты*, 10, 41–43. <http://dx.doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-10-41-43>
- Кандроков, Р. Х., Кирюшин, А. В., & Прудникова, А. С. (2023). Влияние соотношения помольной смеси зерна пшеницы и амаранта на химические и физико-химические показатели пшенично-амарантовой муки. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, 53(6), 83–91. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-10>
- Kandrokov, R. Kh., Kiryushin, A. V., & Prudnikova, A. S. (2023). Influence of the ratio of the milling mixture of wheat and amaranth grains on the chemical and physicochemical parameters of wheat-amaranth flour. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 53(6), 83–91. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-10>
- Красавина, Е. В. & Хашева, И. А. (2024). Оптимизация процесса ферментации хлебного теста с помощью АСУ ТП: контроль температуры, влажности и времени. *Хлебопечение России*, 68(2), 10–17.
- Krasavina, E. V. & Khasheva, I. A. (2024). Optimization of the bread dough fermentation process using an automated process control system: Temperature, humidity, and time control. *Bakery in Russia*, 68(2), 10–17.
- Латышева З. И., Власова О. В., Наджафова М. Н., & Александрова Е. Г. (2023) О результатах производственно-экономической деятельности лидеров рынка хлебобулочных изделий РФ. *Вестник НГИЭИ*, 142(3), 71–83. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2023-3-71-83>
- Latysheva Z. I., Vlasova O. V., Nadzhafova M. N., & Aleksandrova E. G. About the results of production and economic activity of the leaders of the bakery products market of the Russian Federation. *Bulletin NGIEI*, 142(3), 71–83. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2023-3-71-83>
- Резниченко, И. Ю., Рензяева, Т. В. & Табаторович, А. Н. (2017). Формирование ассортимента мучных кондитерских изделий функциональной направленности. *Техника и технология пищевых производств*, 2(45), 149–162.
- Reznichenko, I. Yu., Renzyaeva, T. V. & Tabatorovich, A. N. (2017). Formation of the assortment of functional flour confectionery products. *Food Production Engineering and Technology*, 2(45), 149–162.
- Сажина, К. А., & Плотников, А. М. (2023). Рецепт пшеничного хлеба с добавлением конопляной муки и дробленых семян конопли (Патент РФ № 2 787 364). <https://patents.ru/patentnumber=2787364>
- Sazhina, K. A., & Plotnikov, A. M. (2023). Recipe for wheat bread with the addition of hemp flour and crushed hemp seeds (Russian Patent No. 2,787,364). <https://patents.ru/patentnumber=2787364>
- Серков, В. А. & Кабунина, И. В. (2022). К аспекту нормативно-правового регулирования выращивания и переработки конопли посевной в России. *Международный сельскохозяйственный журнал*, 385(1), 99–102. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_1_99
- Serkov, V. A. & Kabunina, I. V. (2022). On the aspect of legal regulation of cultivation and processing of hemp in

- Russia. *International Agricultural Journal*, 385(1), 99–102. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_1_99
- Савостин, С. Д., Бесфамильная, Е. М., Василькин, Д. П., & Помазунов, А. А. (2024). Разработка информационно-аналитической системы для управления процессами контроля качества готовой продукции на хлебопекарном производстве. *Пищевая промышленность*, (6), 91–94. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.6.6.019>
- Savostin, S. D., Besfamlnaya, E. M., Vasilkin, D. P., & Pomazunov, A. A. (2024). Development of an information and analytical system for managing the quality control processes of finished products in bakery production. *Food Industry*, (6), 91–94. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.6.6.019>
- Мелешкина, Е.П., Коломиец, С.Н., Бундина, О.И., & Жильцова Н.С. (2023). Современные требования к качеству ценной пшеницы в России. *Пищевая промышленность*, (6), 6–8. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.6.6.001>
- Meleshkina, E.P., Kolomiets, S.N., Bundina, O.I., & Zhiltsova, N.S. (2023). Modern requirements for the quality of valuable wheat in Russia. *Food Industry*, (6), 6–8. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.6.6.001>
- Мелешкина, Е.П., & Витол И.С. (2023). Наиболее важные изменения в нормативных документах, регламентирующих качество и безопасность зерна и продуктов его переработки, за последние два года. *Хлебопродукты*, (1), 38–42. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2023-32-1-38-42>
- Meleshkina, E.P., & Vitol, I.S. (2023). The most important changes in regulatory documents governing the quality and safety of grain and its processed products over the past two years. *Khleboproducty*, (1), 38–42. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2023-32-1-38-42>
- Толкачева, С.В., & Петрова, А.А. (2024). Тенденции и перспективы российского экспорта хлебобулочных изделий. *Форум. Серия: Роль науки и образования в современном информационном обществе*, 51(31), 148–156.
- Tolkacheva, S.V., & Petrova, A.A. (2024). Trends and prospects of Russian bakery exports. *Forum. Series: The Role of Science and Education in the Modern Information Society*, 51(31), 148–156.
- Турсунбаева, Ш. А., Изтаев, А. И., Магомедов, М. Г., & Якияева М. А. (2019). Разработка инновационных технологии хлебных изделий из цельносмолотой муки разных классов. *Вестник ВГУИТ*, 4(82), 114–116. <http://dx.doi.org/10.20914/2310-1202-2019-4-83-88>
- Tursunbaeva, Sh. A., Iztaev, A. I., Magomedov, M. G. & Yakiyaeva, M. A. (2019). Development of innovative technologies for bread products from whole-mill flour of different classes. *VSUET Bulletin*, 4(82), 114–116. <http://dx.doi.org/10.20914/2310-1202-2019-4-83-88>
- Ущачовский, В. И., Гончарова, А. А., & Миневи́ч, И. Э. (2022). Влияние переработки на белковый комплекс семян конопли. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 84(1), 66–72. <http://dx.doi.org/10.20914/2310-1202-2022-1-66-72>
- Ushchapovsky, V. I., Goncharova, A. A., & Minevich, I. E. (2022). the effect of processing on the protein complex of hemp seeds. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 84(1), 66–72. <http://dx.doi.org/10.20914/2310-1202-2022-1-66-72>
- Чэнь, Ч. (2024). Применение автоматизированных систем управления для оптимизации процессов хлебопечения на промышленных предприятиях. *Хлебопечение России*, 68(1), 23–33.
- Chen, C. (2024). Application of automated control systems to optimize bakery processes in industrial enterprises. *Bakery in Russia*, 68 (1), 23–33.
- Шэнь, Ц. (2024). Применение робототехнических систем для автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий в хлебопечках. *Хлебопечение России*, 68(2), 58–67.
- Shen, C. (2024). Application of robotic systems for automation of loading and unloading processes of bakery products in bread makers. *Bakery in Russia*, 68(2), 58–67.
- Шахрай, Т. А., Воробьева, О. В. & Викторова, Е. П. (2021). Основные тенденции развития рынка функциональных хлебобулочных изделий. *Новые технологии*, 17(3), 51–58. <http://doi.org/10.47370/2072-0920--2021-17-3-51-58>
- Shakhrai, T. A., Vorobyova, O. V. & Viktorova, E. P. (2021). Main trends in the development of the functional bakery products market. *New technologies*, 17(3), 51–58. <http://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-3-51-58>
- Шаззо, А.Ю. (2023). Моделирование технологических процессов зерноперерабатывающих предприятий от зерна до готовых хлебобулочных изделий. В *Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века* (с. 5–7). Краснодар: «ФГБОУ ВО «КубГУ».
- Shazzo, A. Yu. (2023). Modeling of technological processes of grain processing enterprises from grain to finished bakery products. In *Bakery, confectionery and pasta products of the XXI century* (p. 5–7). Krasnodar: KubSTU.
- Щеголева, И. Д., Васькина, В. А., Машкова, И. А., & Новожилова, Е. С. (2024). Пищевая ценность безглютенового заварного полуфабриката на основе продуктов переработки конопли. *Хлебопродукты*, (4), 37–41. <http://doi.org/10.32462/0235-2508-2024-33-4-37-4117>
- Schegoleva, I. D., Vaskina, V. A., Mashkova, I. A., & Novozhilova, E.S. (2024). Nutritional value of gluten-free custard semi-finished product based on hemp

- processing products. *Khleboproducty*, (4), 37–41. <http://dx.doi.org/10.32462/0235-2508-2024-33-4-37-4117>
- Alonso-Esteban, J. I. et al. (2022). Chemical composition and biological activities of whole and dehulled hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds. *Food Chemistry*, 374, 131754. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131754>
- Aloo, S. O., Mwit, G., Ngugi, L. W., & Oh, D. H. (2022). Uncovering the secrets of industrial hemp in food and nutrition: The trends, challenges, and new age perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28, 1–20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2149468>
- Andre, C. M., Hausman J. -F., & Guerriero G. (2016). *Cannabis sativa*: The Plant of the Thousand and One Molecules. *Frontiers in Plant Science*, 7–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00019>
- Arango, S. et al. (2024). Chemical characterization of 29 industrial hempseed (*Cannabis sativa* L.) varieties. *Foods*, 13(2), 210, 1–28. <https://doi.org/10.3390/foods13020210>
- Bartkiene, E., Schleining, G., Krungleviciute, V., Zadeike, D., Zavistanaviciute, P., Dimaite, I., Kuzmaite, I., Riskeviciene, V., & Juodeikiene, G. (2016). Development and quality evaluation of lacto-fermented product based on hulled and not hulled hempseed (*Cannabis sativa* L.). *LWT — Food Science and Technology*, 72, 544–551. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.027>
- Callaway, J. C. (2004). Hemp seed as a nutritional resource: an overview. *Euphytica*, 140(1), 65–72, <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4811-6>.
- Do, D. T., Ye, A., Singh, H., & Acevedo-Fani, A. (2023). Protein bodies from hemp seeds: Isolation, microstructure and physicochemical characterization, *Food Hydrocolloids*, 149, 109597, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109597>
- El-Sohaimy S. A., Androsova N. V., Toshev A.D., & El-Enshasy H.A. (2022). Nutritional quality, chemical, and functional characteristics of Hemp (*Cannabis sativa* ssp. *Sativa*) Protein Isolate. *Plants*, 11(21), 2825. <https://doi.org/10.3390/plants11212825>.
- Farinon, B., Molinari R., Costantini L., & Merendino N. (2020). The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition. *Nutrients*, 12, 1935. <https://doi.org/10.3390/nu12071935>
- Frassinetti, S., Moccia, E., Caltavuturo, L., Gabriele, M., Longo, V., Bellani, L., Giorgi, G., & Giorgetti, L. (2018). Nutraceutical potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds and sprouts. *Food Chemistry*, 262, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.078>
- Girgih, A.T., Udenigwe, C. C. & Aluko, R. E. (2010). *In vitro* antioxidant properties of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein hydrolysate fractions. *Journals of the American Oil Chemists Society*, 88(3), 381–389. <https://doi.org/10.1007/s11746-010-1686-7>
- Pankratov G.N., Vitol I.S., Meleshkina E.P., Nagaynikova Yu.R., & Kechkin I.A. (2021). Development of technological schemes for the processes of preparation and milling of two-component grain mixtures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 640(3), 6402049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022049>
- Rodriguez-Leyva, D., McCullough, R. S. & Pierce, G. N. (2011). Medicinal use of hempseeds (*Cannabis sativa* L.): effects on platelet aggregation. In V. R. Preedy, R. R. Watson, & V.B. Patel (Eds.), *Nuts and seeds in health and disease prevention*. Amsterdam: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-01960-6>
- Siano, F., Moccia, S., Picariello, G., Russo, G., Sorrentino, G., Di Stasio, M., La Cara, F., & Volpe, M. (2018). Comparative study of chemical, biochemical characteristic and ATR-FTIR analysis of seeds, oil and flour of the edible Fedora cultivar hemp (*Cannabis sativa* L.). *Molecules*, 24(83), 1–13. <https://doi.org/10.3390/molecules24010083>
- Sun, X., Sun, Y., Li, Y., Wu, Q., & Wang, L. (2021). Identification and characterization of the seed storage proteins and related genes of *Cannabis sativa* L. *Frontiers in Nutrition*, 8, 678421, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.678421>
- Tasie, O., Boateng J., & Cebert, E. (2024). Screening for anti-nutrients, antioxidants, minerals, and cannabinoid content in hemp (*Cannabis sativa* L.) Seed Cultivars. *EC Nutrition*, 19, 1–15.
- Teh, S. S., Bekhit, A. E. D. A., Carne, A. & Birch, J. (2016). Antioxidant and ACE-inhibitory activities of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein hydrolysates produced by the proteases AFP, HT, Pro-G, actinidin and zingibain. *Food Chemistry*, 203, 199–206, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.057>
- Wang, Q., Jiang, J., & Xiong, Y. L. (2018). High pressure homogenization combined with pH shift treatment: A process to produce physically and oxidatively stable hemp milk. *Food Research International*, 106, 487–494. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.021>
- Werz, O., Seegers, J., Schaible, A. M., Weinigel, C., Barz, D., Koeberle, A., Allegrone, G., Pollastro, F., Zampieri, L., Grassi, G., & Appendino, G. (2014). Cannflavins from hemp sprouts, a novel cannabinoid-free hemp food product, target microsomal prostaglandin E2 synthase-1 and 5-lipoxygenase. *PharmaNutrition*, 2(3), 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2014.05.001>