



FOOD METAENGINEERING

Пищевая Метаинженерия

Volume 1 | Issue 2 | 2023



■ FOOD METAENGINEERING

Научный рецензируемый журнал
№ 1 | 2023
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 — кандидат технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (Москва, Россия) (ORCID)

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», 2023
Дата публикации 30.09.2023

■ FOOD METAENGINEERING

Scientific peer-reviewed journal
№ 1 | 2023
Periodicity of publication — 4 issues per year
Published since 2023

■ Founder:

All-Russian Dairy Research Institute (VNIMI)

■ Editor-in-Chief

Aram G. Galstyan — Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, Professor, Director of the All-Russian Scientific Research Institute of the Dairy Industry (Moscow, Russia) (ORCID)

■ EDITORIAL OFFICE

Head of the Editorial Team, Academic Editor

Elena V. Tikhonova — Cand. Sci. (History), Assistant professor, All-Russian Scientific Research Institute of the Dairy Industry (Moscow, Russia) (ORCID)

Executive Secretary

Anastasiia Riabova — Cand. Sci. (Engineering), All-Russian Scientific Research Institute of the Dairy Industry (Moscow, Russia) (ORCID)

Editor by Ethics

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

- 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, 2023
Published: 30.09.2023

- **Бабич Ольга Олеговна** —
доцент, доктор технических наук, директор Научно-образовательного центра «Промышленные биотехнологии» Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта» (Калининград, Россия) (ORCID)
- **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 (Москва, Россия) (ORCID)
- **Будрик Владислав Глебович** —
кандидат технических наук, директор Всероссийского научно-исследовательского института птицеперерабатывающей промышленности – филиала Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства РАН (Ржавки, Россия) (ORCID)
- **Донник Ирина Михайловна** —
академик РАН, профессор, доктор биологических наук, помощник президента НИЦ «Курчатовский институт» (Москва, Россия) (ORCID)
- **Евдокимов Иван Алексеевич** —
член-корреспондент РАН, профессор, доктор технических наук, заведующий базовой кафедрой технологии молока и молочных продуктов Северо-Кавказского федерального университета (Ставрополь, Россия) (ORCID)
- **Линденбек Марио** —
доктор сельскохозяйственных наук, Business consulting Lindenbeck (Берлин, Германия) (ORCID)
- **Лобачевский Яков Петрович** —
академик РАН, профессор, доктор технических наук, первый заместитель директора Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (Москва, Россия) (ORCID)
- **Мартиросян Владимир Викторович** — профессор РАН, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе Научно-исследовательского института хлебопекарной промышленности (Москва, Россия) (ORCID)
- **Мельникова Елена Ивановна** — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения Воронежского государственного университета инженерных технологий (Воронеж, Россия) (ORCID)
- **Петров Андрей Николаевич** —
академик РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (Москва, Россия) (ORCID)
- **Просеков Александр Юрьевич** —
член-корреспондент РАН, профессор РАН, профессор, доктор технических наук, доктор биологических наук, ректор Кемеровского государственного университета (Кемерово, Россия) (ORCID)
- **Семипятный Владислав Константинович** — доктор технических наук, старший научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (Москва, Россия) (ORCID)
- **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 (Москва, Россия) (ORCID)
- **Сложенкина Марина Ивановна** —
член-корреспондент РАН, профессор РАН, профессор, доктор биологических наук, директор Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции (Волгоград, Россия) (ORCID)
- **Федотова Ольга Борисовна** —
старший научный сотрудник, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник/ученый секретарь Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (Москва, Россия) (ORCID)
- **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 (Москва, Россия) (ORCID)

■ **Olga O. Babich** —

Associate Professor, Doctor of Engineering, Director of the Scientific and Educational Center «Industrial Biotechnologies», Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad, Russia) (ORCID)

■ **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, Russia) (ORCID)

■ **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, Russia) (ORCID)

■ **Irina M. Donnik** —

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

■ **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, Russia) (ORCID)

■ **Mario Lindenbeck** —

Doctor of Agricultural Sciences, Business Consulting Lindenbeck (Berlin, Germany) (ORCID)

■ **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, Russia) (ORCID)

■ **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, Russia) (ORCID)

■ **Andrey N. Petrov** —

Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, Chief Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of the Dairy Industry (Moscow, Russia) (ORCID)

■ **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, Russia) (ORCID)

■ **Vladislav K. Semipyatny** —

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher of the All-Russian Scientific Research Institute of the Dairy Industry (Moscow, Russia) (ORCID)

■ **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, Russia) (ORCID)

■ **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 Scientific Research Institute of the Dairy Industry (Moscow, Russia) (ORCID)

■ **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. Gorbатов, Russian Academy of Science (Moscow, Russia) (ORCID)

РЕДАКТОРСКАЯ СТАТЬЯ

А. Г. Галстян

Индустрия Х.0. Пищевая промышленность..... 7

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

А. Л. Кузнецов, А. С. Пучкова, Е. Ю. Князев, О. А. Суворов

Формирование биобезопасности и экологизация производственной среды пищевых производств
при использовании анолита..... 11

А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская

Разработка обогащенных хлебобулочных изделий с использованием биотрансформации
белоксодержащих растительных добавок в заквасках 21

Н. Н. Алёхина, Е. И. Пономарева, И. А. Бакаева

Разработка технологии функционального хлеба улучшенного качества на основе хлебопекарной смеси
с применением муки из цельносмолотого биоактивированного зерна пшеницы и ржи 41

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

Оценка смачивающих свойств пероксида водорода в контексте безопасного применения
при асептическом розливе молока..... 54

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

Ю. И. Крысанова

Характеристики без-/низколактозных кисломолочных продуктов включающих микроорганизмы,
входящие в состав консорциума кефирного грибка: обзор предметного поля 66

EDITORIAL

Aram G. Galstyan

Industry X.0: The Food Industry 7

ORIGINAL RESEARCH

Alexander L. Kuznetsov, Anastasia S. Kapranova, Evgeny Yu. Knyazev, Oleg A. Suvorov

Formation of Biosafety and Greening of the Production Environment of Food Production with Application of Anolyte 11

Anna I. Kosheleva, Tatiana G. Bogatyreva, Irina G. Belyavskaya

Development Of Enriched Bakery Products Using Biotransformation in Starter Cultures of Protein-Containing Vegetable Additives 21

Nadezhda N. Alyokhina, Elena I. Ponomareva, Irina A. Bakaeva

Development of Functional Bread Technology Based on a Baking Mixture of Bioactivated Wheat and Rye 41

Boris V. Manevich, Nikolay A. Zhizhin, Elena A. Burykina, Evgeny N. Titov

Evaluation of Hydrogen Peroxide Wetting Properties in the Context of Safe Application in Aseptic Milk Filling 54

REVIEW

Julia I. Krysanova

Characteristics of Lactose-Free/Low-Lactose Fermented Dairy Products Containing Microorganisms that are Part of the Kefir Grain Consortium: A Scoping Review 66

Индустрия X.0. Пищевая промышленность

А. Г. Галстян

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Цель редакторской статьи — прокомментирована значимость прогнозирования и моделирования будущих тенденций развития пищевой промышленности. Автор обосновывает, что интеграция производственных решений в лучшие мировые практики требует наличия алгоритмов контроля эффективности и специфической маршрутизации процессов. Комментируется универсальность этих базовых принципов для поддержания работоспособности различных моделей промышленных трансформаций, а также указывает на неизбежность стагнации для локальных решений, которые не интегрируются в глобальные ценности. Автор выделяет важность междисциплинарного анализа для прогнозирования развития пищевой промышленности, учитывая мировые демографические изменения и события последних лет. Комментируется необходимость моделирования макротенденций и циклов в различных сферах для оптимизации управления обществом и минимизации рисков на глобальном, региональном и национальном уровнях. Обсуждаются многопараметрические задачи, связанные с анализом глобальных процессов, включая демографические изменения, войны, конфликты и пандемии. В заключение автор акцентирует внимание на важности учета цифровизации и потенциальной проблемы технологической сингулярности, призывая к формированию адаптивных производственных стратегий.

Ключевые слова: прогнозирование, моделирование, тенденции развития пищевая промышленность, интеграция производственных решений, алгоритмизированный контроль, маршрутизация процессов, адаптивные производственные стратегии

Корреспонденция:

Галстян Арам Генрихович,
Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»),
г. Москва, Люсиновская 35, корп. 7
E-mail: a_galstyan@vnimi.org

Конфликт интересов:

автор сообщает
об отсутствии конфликта
интересов.

Copyright: © 2023 Автор



Для цитирования: Галстян, А. Г. (2023). Индустрия X.0. Пищевая промышленность. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 7-10. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.33>

Industry X.0: The Food Industry

Aram G. Galstyan

All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIMI»), Moscow,
Russian Federation

ABSTRACT

The purpose of the editorial article is to comment on the significance of forecasting and modeling future trends in the development of the food industry. The author argues that the integration of production decisions into the global context requires algorithmic control of efficiency and specific process routing. The universality of these basic principles for maintaining the operability of various industrial transformation models is discussed, as well as highlighting the inevitability of stagnation for local solutions that do not integrate into global values. The author emphasizes the importance of interdisciplinary analysis for forecasting the development of the food industry, taking into account global demographic changes and recent events. The need to model macro-trends and cycles in various spheres to optimize societal management and minimize risks at the global, regional, and national levels is commented upon. Multiparametric tasks associated with the analysis of global processes, including demographic changes, wars, conflicts, and pandemics, are discussed. In conclusion, the author focuses on the importance of accounting for digitalization and the potential problem of technological singularity, calling for the formation of adaptive production strategies.

Keywords: forecasting; modeling; development trends; food industry; integration of production decisions; algorithmic control; process routing; adaptive production strategies

Correspondence:

Galstyan Aram,

All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIMI»),
35 Lyusinovskaya, Building 7,
Moscow, Russian Federation.
E-mail: a_galstyan@vniimi.org

Conflict of interest:

The author reports the absence of a conflict of interest.

Copyright: © 2023 The Author



To cite: Galstyan, A (2023). Industry X.0: The Food Industry. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 7-10. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.33>

Эффективное развитие любого направления деятельности человека невозможно вне глобального анализа мировых тенденций в предметной области и разработки прогностических моделей будущего с опосредованной интеграцией производственных решений в мировые форматы (Li et al., 2023; Hussain et al., 2023; Ahmed et al., 2021). Последнее априори предполагает наличие алгоритма контроля их эффективности и соответствующую маршрутизацию процессов, уникальную для каждого направления. Эти базовые принципы универсальны и определяют работоспособность той или иной модели трансформации в промышленные технологии. В то же время на уровне флуктуаций возможны спонтанные локальные решения, но они или трансформируются во времени в глобальные ценности, или же крайне ограничены в пространственно-временном континууме и обречены на стагнацию (Wood et al., 2023; Capozzi et al., 2017).

Для анализа возможных сценариев развития пищевой промышленности в будущем прежде всего необходимо иметь обоснованную картину мировых демографических изменений. Это требует междисциплинарного анализа предметного поля, а с учетом событий последних лет, симулирования процессов, способных принципиально видоизменять сценарии будущего. Следует отметить, что усилия по математическому моделированию и прогнозированию осуществляется во многих странах и научных коллективах не первый год (Korotayev et al., 2014; Blackman, 1971). Однако в абсолютном большинстве случаев эти модели носят узконаправленный характер, что обосновано инерционными алгоритмами анализа традиционных трендов развития. Также недостаточно внимания уделяется нелинейным процессам, институциональным ловушкам развития, пандемиям, наукоемким технологическим решениям и др. на глобальные процессы. Соответственно актуализируется моделирование макротенденций и циклов демографической, экономической, политической, социальной, технологической динамики на глобальном, региональном и национальном уровнях. Это опосредовано позволит оптимизировать стратегию управления обществом и минимизировать всевозможные риски для государства. Масштабность научной составляющей модели обусловлена многопараметрической задачей анализа глобальных процессов и локальных ситуаций, в том числе таких как: демография, войны, конфликты, пандемии и др. В то же время целесообразно учитывать как позитивные, так и негативные элементы глобальной

цифровизации общества. В частности, предвидеть проблему технологической сингулярности и формировать гибкие производственные решения (Meade & Islam, 2006; O’Lemmon, 2020).

Так или иначе проблема обеспечения населения качественными пищевыми продуктами актуальна во всем мире. Сегодня она принимает принципиально новые формы в связи с демографической тенденцией к увеличению численности населения на планете и, как следствие, прогнозируемому многократному росту потребления продуктов питания. Процессы глобализации уже сегодня изменили структуру питания и модели потребления, кардинально трансформировали классические принципы производства и переработки сельскохозяйственного сырья. Это, в свою очередь, модифицировало традиционные схемы идентификации продуктов, в том числе по биологическому и географическому признакам; обосновало необходимость унификации оценочных критериев качества; предопределило трансформацию традиционных технологий, потенциал которых не предполагает возможность их бесконечного тиражирования. Отдельной глобальной проблемой по праву считаются с одной стороны наличие голодающих людей, а с другой астрономические миллиарды тонн потерь готовой продукции ежегодно, которые связаны с низким качеством сырья, нарушениями производственного процесса, посттехнологического хранения, логистикой, возвратами излишков торговыми организациями и др. При этом по прогнозам ООН к 2050 г. глобальные процессы в мире потребуют увеличения производства продовольствия в 1,5...2,0 раза по сравнению с сегодняшним уровнем и, при условии сохранения указанных соотношений производства и потерь, последние примут катастрофические масштабы.

Соответственно на первый план выходит задача замены парадигмы питания: от производства пищи в промышленных условиях к применению домашних 3D принтеров. Именно с этим направлением связаны потенциальные качественные скачки в развитии технологий, последовательно способствующие развитию положительных тенденций в питании населения, в том числе профилактике алиментарно-зависимых патологий, и последующего перехода к персонифицированному питанию (Potapov, 2018; Pitayachaval & Thongrak, 2018; Zhang et al., 2022; Alimanova et al., 2017; Boukid et al., 2023; Iftekar et al., 2023; Hemananthan et al., 2023).

Априори такое развитие технологий предполагает опосредованную замену традиционных ассортиментных линеек и переход к производству компонентов для синтеза с длительными сроками хранения и множеством рецептурных решений. Это в свою очередь предполагает наличие сырья с определенным набором свойств и соответственно применение глубоких технологий переработки и консервирования. Своевременное раз-

витие в данном направлении способствует получению не только конкурентоспособной на международном рынке продукции с высокой добавленной стоимостью, но и принципиально видоизменит экспортные позиции в сельскохозяйственном направлении, повысит его эффективность в целом и глобально поменяет сырьевой вектор развития страны.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Ahmed, A., Azam, A., Aslam Bhutta, M.M., F.A. Khan, Aslam, R., Tahir Z. (2021). Discovering the technology evolution pathways for 3D printing (3DP) using bibliometric investigation and emerging applications of 3DP during COVID-19. *Cleaner Environmental Systems*, 3, Article 100042, <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100042>
- Alimanova, M., Zholdygarayev, A., Tursynbekova, A., & Kozhamzharova, D. (2017). Overview of a low-cost self-made 3D food printer. *13th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICECCO.2017.8333332>
- Blackman, A.W. (1971). A mathematical model for trend forecasts. *Technological Forecasting and Social Change*, 3, 441-452. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(71\)80031-8](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(71)80031-8)
- Boukid, F., Hassoun, A., Zouari, A., Tülbek, M.Ç., Mefleh, M., Aït-Kaddour, A., & Castellari, M. (2023). Fermentation for designing innovative plant-based meat and dairy alternatives. *Foods*, 12, 1005. <https://doi.org/10.3390/foods12051005>
- Capozzi, V., Fragasso, M., Romaniello, R., Berbegal, C., Russo, P., Spano, G. (2017). Spontaneous food fermentations and potential risks for human health. *Fermentation*, 3, 49. <https://doi.org/10.3390/fermentation3040049>
- Hemananthan, E., Ponnuswamy, R. D., & Kannapan, R.P. (2023). Perspective approaches of 3D printed stuffs for personalized nutrition: A comprehensive review. *Annals of 3D Printed Medicine*, 12, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.stlm.2023.100125>
- Hussain, S., Mustafa, G., Haider Khan, I., Liu, J., Chen, C., Hu, B., Chen, M., Ali, I., Liu, Y. (2023). Global trends and future directions in agricultural remote sensing for wheat scab detection: Insights from a bibliometric analysis. *Remote Sensing*, 15, 3431. <https://doi.org/10.3390/rs15133431>
- Iftekar, S. F., Aabid, A., Amir, A., & Baig, M. (2023). Advancements and limitations in 3D printing materials and technologies: A critical review. *Polymers*, 15, 2519. <https://doi.org/10.3390/polym15112519>
- Korotayev, A. V., Zinkina, J. V., & Bogevolnov, Yu. V. (2014). Mathematical modeling of the demographic future of the BRIC countries. Russia. In A. A. Akaev, A. V. Korotayev, & S. Yu. Malkov (Eds.), *Complex system analysis, mathematical modeling and forecasting of development of the BRICS countries: Preliminary results* (pp. 189 – 207). Moscow: KRASAND/URSS
- Li, G., Chen, W., Mu, L., Zhang, Xu., Bi, P., Wang, Z., & Yang, Z. (2023). Analysis and prediction of global vegetation dynamics: Past variations and future perspectives. *Journal of Forestry Research*, 34, 317–332. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01491-4>
- Meade, N., & Islam, T. (2006). Modelling and forecasting the diffusion of innovation – a 25-year review. *International Journal of Forecasting*, 22(3), 519-545. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.01.005>
- O’Lemmon, M. (2020). The technological singularity as the emergence of a collective consciousness: An anthropological perspective. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 40. 027046762098100. <https://doi.org/10.1177/0270467620981000>
- Potapov, A. (2018). Technological singularity: What do we really know? *Information*, 9(4), 82. <https://doi.org/10.3390/info9040082>
- Pitayachaval, P., & Thongrak, A. (2018). A review of 3D food printing technology. *2018 6th Asia Conference on Mechanical and Materials Engineering (ACMME 2018)*, 213, 01012. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821301012>
- Zhang, J.Y., Pandya, J.K., McClements, D.J., Lu, J., & Kinchla, A.J. (2022). Advancements in 3D food printing: A comprehensive overview of properties and opportunities. *Crit Rev Food Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(17), 4752-4768. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1878103>
- Wood, A., Queiroz, C., Deutsch, L., González-Mon, B., Jonell, M., Pereira, L., Sinare, H., Svedin, U., & Wassénus, E. (2023). Reframing the local–global food systems debate through a resilience lens. *Nature Food*, 4, 22–29. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00662-0>

Формирование биобезопасности и экологизация производственной среды пищевых производств при использовании анолита

А. Л. Кузнецов¹, А. С. Пучкова², Е. Ю. Князев², О. А. Суворов²

¹ Акционерное общество «345 механический завод», г. Москва, Россия

² Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: Электрохимически активированные водные растворы широко применяются в медицинских учреждениях, животноводстве, а также на крупных пищевых перерабатывающих производствах в качестве безопасного средства для обработки продовольственного сырья, оборудования, гастремкостей и поверхностей производственных помещений предприятий общественного питания.

Цель данного обзора состоит в изучении возможности применения электрохимически активированных водных растворов в качестве безопасных и экологичных средств для обработки объектов производственной среды для исключения рисков контаминации микроорганизмами.

Материалы и методы: Объектами исследования выступили поверхности производственной среды: стол, весы, нож, слайсер, гастремкость. В качестве пищевых продуктов, не проходящих тепловую обработку, были выбраны плоды сладкого перца сорта «Авангард». В качестве средства для обработки был выбран электрохимически активированный водный раствор хлоркислородных и гидропероксидных соединений с концентрацией активных веществ $0,5 \pm 0,05$ г/л (Анолит АНК-СУПЕР). Микробиологические исследования проводились с использованием питательной среды XLD Агар и петрифильмов. Оценка эффективности обработки поверхностей проводились микробиологические исследования с определением БГКП и КМАФАнМ. Для достижения допустимых количеств микроорганизмов с целью возможности подсчёта использовали метод десятикратных разведений. Концентрацию остаточного активного хлора определяли с использованием йодометрического метода, для определения фактических концентраций рабочих растворов.

Результаты: Использование неразбавленного дезинфицирующего средства с концентрацией $0,5 \pm 0,05$ г/л подтвердило эффективность применения электрохимически активированных растворов в отношении БГКП, значительное снижение содержания КМАФАнМ относительно контрольных образцов при условии подбора концентрации дезинфицирующего средства и длительность обработки в зависимости от объекта. Полученные данные предварительных экспериментов характеризуют возможности использования сниженных концентраций рабочего раствора (не менее $0,05 \pm 0,005$ г/л по активному хлору), однако не подтверждают возможность полноценного применения использованных концентраций ввиду отсутствия количественных данных о степени заражения исходных поверхностей.

Вывод: Подтверждена эффективность дезинфицирующих средств на основе электрохимически активированных растворов против бактерий группы кишечной палочки (БГКП), снижение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ). Определены показатели наименьших концентраций и времени контакта при стабильном достижении дезинфицирующего эффекта. Продемонстрировано, что применение ЭХАР обеспечивает биологическую безопасность обработанных производственных объектов и поверхности термически не обрабатываемых пищевых продуктов. Предложен альтернативный способ применения ЭХАР как универсального экологичного средства.

Ключевые слова: электрохимически активированные растворы (ЭХАР); бактерии группы кишечной палочки (БГКП); количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ); безопасность

Корреспонденция:

Кузнецов Александр Львович,
АО «345 механический завод».
143903, Россия, Московская
область, г. Балашиха,
ш. Энтузиастов, Западная
промзона тер., д 7.
E-mail: a.l.kuznetsov@bk.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 03.01.2023

Принята: 03.01.2023

Опубликована: 30.09.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Кузнецов, А.Л., Пучкова, А.С., Князев, Е.Ю., & Суворов, О.А. (2023). Формирование биобезопасности и экологизация производственной среды пищевых производств при использовании анолита. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 11-20. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.8>

Formation of Biosafety and Greening of the Production Environment of Food Production with Application of Anolyte

Alexander L. Kuznetsov¹, Anastasia S. Kapranova², Evgeny Yu. Knyazev², Oleg A. Suvorov²

¹ 345 Mechanical plant, Balashikha, Moscow region, Russia

² Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction: Research on the analysis of lactose-free and low-lactose dairy products is primarily presented in the context of studying specific microorganisms or starter cultures and their functioning in conditions of limited lactose content. However, the synthesis of accumulated data has not been adequately highlighted.

Purpose: To systematize and critically analyze scientific research focusing on the specifics of dairy products with reduced lactose levels, emphasizing comparative studies of standard dairy products and their low-lactose or lactose-free modifications. Particular attention is paid to dairy products that include microorganisms found in the kefir grain consortium.

Materials and Methods: The objects of study were surfaces in the production environment: table, scales, knife, slicer, and gastronorm container. As food products not undergoing heat treatment, sweet pepper fruits of the 'Avangard' variety were selected. An electrochemically activated aqueous solution of chloro-oxygen and hydroperoxide compounds with a concentration of active substances of 0.5 ± 0.05 g/l (Anolyte ANK-SUPER) was chosen as the treatment agent. Microbiological studies were conducted using XLD Agar and Petrifilms. The effectiveness of surface treatment was evaluated by microbiological research, determining the presence of coliforms and mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microorganisms. To achieve acceptable quantities of microorganisms for possible counting, a method of tenfold dilutions was used. The concentration of residual active chlorine was determined using the iodometric method to establish the actual concentrations of the working solutions.

Results: The use of undiluted disinfectant with a concentration of 0.5 ± 0.05 g/l confirmed the effectiveness of electrochemically activated solutions against coliforms, showing a significant reduction in the content of mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microorganisms compared to control samples, provided the concentration of the disinfectant and the duration of treatment were appropriately chosen depending on the object. Preliminary experimental data characterize the possibilities of using reduced concentrations of the working solution (not less than 0.05 ± 0.005 g/l in active chlorine), but do not confirm the possibility of full-scale application of the used concentrations due to the lack of quantitative data on the degree of contamination of the original surfaces.

Conclusion: The effectiveness of disinfectants based on electrochemically activated solutions against *Escherichia coli* group bacteria (coliforms) and the reduction in the number of mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microorganisms (mesophilic count) have been confirmed. The indicators of the lowest concentrations and contact time for consistent achievement of the disinfecting effect have been determined. It has been demonstrated that the use of EHAS ensures the biosafety of treated production objects and surfaces of thermally untreated food products. An alternative method of using EHAS as a universal ecological agent is proposed.

Keywords: Electrochemically activated solutions (EHAS); *Escherichia coli* group bacteria (coliforms); Mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microorganisms (mesophilic count), safety

Correspondence:

Kuznetsov Alexander Lvovich,
JSC «345 MZ»,
143900, Moscow region, Balashikha,
Western industrial zone,
sh. Enthusiasts 7.
E-mail: a.l.kuznetsov@bk.ru

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 03.01.2023

Accepted: 01.03.2023

Published: 30.09.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Kuznetsov, A.L., Kapranova, A.S., Knyazev, E.Y., & Suvorov, O.A. (2023). Formation of biosafety and greening of the production environment of food production with application of anolyte. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 11-20. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.8>

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность пищевых продуктов должна быть обеспечена на каждом этапе послеуборочной обработки, включая транспортировку, обработку, мытье сырья, очистку посуды и поверхностей производственных помещений. Гипохлорит натрия в настоящее время является одним из наиболее распространенным дезинфицирующих средств, используемых на производстве. Однако имеет ряд недостатков, среди которых высокие концентрации и необходимость разведения до рабочих растворов, агрессивный pH среды и резкий запах, влияющий на органолептические качества пищевых продуктов. Электрохимически активированные растворы (ЭХАР) с нейтральным pH и концентрацией активно хлора не более 500 мг/л, известные как Анолит.

Концепция электрохимической активации (ЭХА) или электролизной воды изначально была разработана в России (Бахир, 2014), где она использовалась в качестве обеззараживания, регенерации и дезинфекции воды в медицинских учреждениях. С 1980-х годов данные растворы также использовались в Японии. Одним из первых способов применений была стерилизация медицинских инструментов в медицинских учреждениях. Позже результаты были адаптированы и использованы в различных областях, таких как сельское хозяйство, а именно животноводство (Аронов, 2012), но использование электролизной воды было ограничено коротким сроком хранения. С последними улучшениями в технологиях и благодаря появлению более совершенного оборудования ЭХАР приобрели популярность в качестве дезинфицирующего средства в пищевой промышленности (Pshenko, 2019).

Антимикробная активность ЭХАР на предприятии общественного питания

ЭХАР приобретает все большую популярность в качестве дезинфицирующего средства в пищевой промышленности многих стран (Бывальцев, 2008, Горбачева, 2020, Сокол, 2019). При электролизе, разбавленный раствор поваренной соли диссоциирует на 2 фракции, католит и анолит с диаметрально противоположными окислительно-восстановительными потенциалами. Получаемый по таким технологиям анолит обладает окислительно-восстановительным потенциалом от +500 до +1100 мВ и содержанием активного хлора от 10 до 90 ppm (Еканина, 2021).

Поскольку очистка и дезинфекция являются важными элементами гигиенической практики на предприятии по переработке пищевых продуктов, выбор дезинфицирующих средств, применяемых в пищевой промышленности, чаще всего включает соединения хлора, органические кислоты, тринатрийфосфат, йодофоры, и четвертичные аммониевые соединения (Маркова, 2020, Миклис, 2022, Некрасова, 2020). Соединения хлора часто являются наиболее эффективными, хотя они могут быть более едкими и раздражающими, чем альтернативы, такие как соединения йода и четвертичного аммония. Химические вещества также используются для дезактивации определенных продуктов питания. В США дезактивация противомикробными препаратами была разрешена для туш, но такие обработки не разрешены в настоящее время в Европе (Huang, 2011, Stefanello, 2020). Некоторые из этих процедур были признанными неприемлемыми из-за химических остаточных следов, высокой стоимости, ограниченной эффективности или изменения цвета продуктов (Прокопенко, 2020).

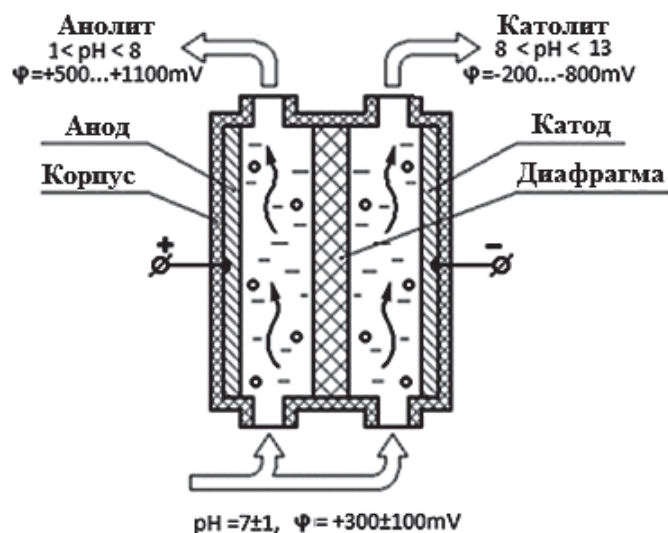
В настоящее время ЭХАР в качестве дезинфицирующего средства в пищевой промышленности используются для сокращения или устранения бактериальных популяций на пищевых продуктах, поверхностях обработки пищевых продуктов, и непродовольственных контактных поверхностях (Гомбоев, 2008, Han, 2021). Так, например, Министерство здравоохранения, труда и благосостояния Японии утвердили ЭХАР в качестве пищевой добавки. Специальные генераторы ЭХАР также были одобрены для использования в пищевой промышленности Агентства по охране окружающей среды США (Jiménez-Pichardo, 2016, Chen, 2022).

Ранее исследователями были проведены исследования влияния ЭХАР на безопасность яиц и продления их срока годности (Zang, 2019), на мясные продукты (Savchenko, 2021), на разрушение бактериальных биопленок (Погорелов, 2019), на гидропонные субстраты для микрорастения (Погорелова, 2020), ягоды (Alexander, 2012) и на многие другие объекты.

ЭХАР является продуктом электролиза растворов солей NaCl или KCl-MgCl₂ в электролизере, внутри которого между анодом и катодом установлена разделительная диафрагма. Принцип производства показан на Рисунке 1. Напряжение между электродами обычно устанавливается на уровне от 9 до 10 В (Бахир, 2014). Во время электролиза NaCl, растворенный в деионизированной воде, диссоциирует на отрицательно заряжен-

Рисунок 1

Принцип получения электрохимически активированных растворов (Suvorov, 2018)



ный хлор (Cl) и положительно заряженный натрий (Na). В то же время образуются гидроксид (OH) и ионы водорода (H). Отрицательно заряженные ионы, такие как Cl , и OH движутся к аноду, отдавая электроны и превращаясь в газообразный кислород (O_2), газообразный хлор (Cl_2), ион гипохлорита (OCl), хлорноватистая кислота (HOCl) и соляная кислота, и положительно заряженные ионы, такие как H и Na , переходят в катод для поглощения электронов и превращения в газообразный водород (H_2) и гидроксид натрия (NaOH) (Рисунок 1).

Имеющие множество названий ЭХАР запатентованы во множестве стран, включая Россию, Китай, Японию и США (Kitanovski, 2018, Pshenko, 2019, Kim, 2012). ЭХАР на примере анолита отличается универсальностью, высокой эффективностью, помогает экономить время и ресурсы за счёт сокращения этапов обработки и отсутствия необходимости повторной мойки, а также безопасен для окружающей среды (Попова, 2021).

Пищевые отравления, связанные с микроорганизмами в общественном питании

Пищевые отравления считаются одной из наиболее распространенных причин заболеваний и смерти в развивающихся странах. Большинство сообщений о пищевых

отравлениях связано с бактериальным загрязнением, вызванными грамотрицательными микроорганизмами такими как: *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas* и грамположительными: *Staphylococcus aureus* и *Bacillus cereus*¹ (Liu, 2020).

Когда пища готовится в больших масштабах, с ней контактирует большое количество персонала, проходит значительный период контакта с воздушной средой производственной среды и тем самым увеличиваются шансы заражения микроорганизмами, находящимися на поверхностях производственных объектов. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) заявляет, что миллионы человек страдают от диареи, главным образом из-за употребления загрязненной пищи и питьевой воды (Tenzin, 2019).

Пищевые продукты могут быть загрязнены токсичными металлами, пестицидами и бактериальными инфекциями. Бактерии, вирусы, паразиты и грибы являются причиной многих пищевых заболеваний (Gellynck, 2008).

Актуальность исследования заключается в том, что быстрое увеличение объемов потребления минимально обработанных или свежесрезанных фруктов и овощей требует обеспечения микробиологической безопасности. Проблемы безопасности пищевых продуктов, процессов приготовления и рост числа вспышек болезней, связанных с качеством продукции, стимулировали разработку новых подходов и методов обеспечения уничтожения патогенных организмов на пищевых продуктах и поверхностях в зонах общественного питания.

Основные тренды изучения в данной области исследования направлены на поиск режимов обработки, обеспечивающих качественное обеззараживание, расширение области обрабатываемых объектов, экологизации и уменьшения количества потребляемых ресурсов. Поэтому в процессе формирования биобезопасности важен поиск наиболее качественных, безопасных и экологических методов обработки производственной среды. Новизна исследований заключается в исследовании свойств электрохимически активированных водных растворов применительно к объектам производственной среды с повышенным риском контаминации микроорганизмами.

¹ Просеков, А.Ю., Солдатова, Л.С., Разумникова, И.С., & Козлова, О.В. (2018). *Общая биология и микробиология*. Проспект Науки.

Цель исследования состоит в изучении возможности применения электрохимически активированных водных растворов в качестве безопасных и экологичных средств для обработки объектов производственной среды для исключения рисков контаминации микроорганизмами. Для достижения поставленной цели необходимо было сформировать ответы на главные исследовательские вопросы, среди которых определение объектов риска заражения и способов обработки, а также выполнить предварительные эксперименты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

В качестве объектов исследования были выбраны поверхности производственной среды, наиболее часто контактирующие с пищевыми продуктами: стол, весы, нож, слайсер, гастроемкость. Данные поверхности при недостаточной степени обработки являются потенциальными источниками микробиологического заражения не проходящих тепловую обработку пищевых продуктов. В качестве пищевых продуктов, не проходящих тепловую обработку, были выбраны плоды сладкого перца сорта «Авангард», которые благодаря своим вкусовым качествам употребляются в салатах в сыром виде.

В качестве средства для обработки был выбран электрохимически активированный водный раствор хлоркислородных и гидропероксидных соединений с концентрацией активных веществ $0,5 \pm 0,05$ г/л (Анолит АНК-СУПЕР).

Микробиологические исследования были проведены с использованием питательной среды XLD Agar и петрифильмов 3M Petrifilm.

Методы

Для оценки эффективности обработки проводили микробиологические исследования с определением: бактерий группы кишечной палочки (БГКП) и количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ). Для достижения допустимых количеств микроорганизмов с целью возможности подсчёта использовали метод десятикратных разведений.

Концентрацию остаточного активного хлора определяли с использованием йодометрического метода, для

определения фактических концентраций рабочих растворов.

Оборудование

Для проведения исследований было использовано оборудование российского производства: термостат электрический суховоздушный ТС-1/80 СПУ; стерилизатор паровой ГК-10-1-ТЗМОИ; ламинарный шкаф.

Процедура исследования

Поверхности производственной среды: стол, весы, нож, слайсер, гастроемкость были искусственно загрязнены с использованием продуктов не прошедших предварительную обработку. Обработку поверхностей и образцов растительного сырья производили методом орошения с использованием электрохимически активированных водных растворов хлоркислородных и гидропероксидных соединений, со стандартной концентрацией $0,5 \pm 0,05$ г/л и пониженной разбавлением дистиллированной водой до $0,05 \pm 0,005$ г/л при температуре 20 °С, с выдержкой не менее 10 минут. В качестве нейтрализатора применялся 0,5% раствор тиосульфата натрия.

Были выполнены 5 одинаковых смывов с поверхностей производственной среды в трех случаях и трёх повторностях. В первом, когда оборудование не было обработано, а вымыто водой без дополнительных средств. Во втором, когда поверхности были обработаны дезинфицирующим средством с пониженной до $0,05 \pm 0,005$ г/л концентрацией. Третий, когда поверхности были обработаны со стандартной концентрацией $0,5 \pm 0,05$ г/л. Аналогичную обработку прошли образцы плодоовощной продукции. Для образцов из растительного сырья использовали измельчитель. Для исключения контаминации всё используемое оборудование дезинфицировалось перед каждым последующим экспериментом согласно инструкции, прилагаемой к дезсредству.

Подготовку проб пищевых продуктов проводили по ГОСТ 26669 и другим действующим нормативным документам применительно к анализируемым видам образцов. Взятие смывов осуществляли согласно требованиям МР 4.2.0220-20 с использованием стерильных одноразовых тупферов. Ввиду проведения предварительных экспериментов время обеззараживания поверхностей по п. 3.2.6.7 МР 4.2.0220-20 приняли 10 минут, что соответствует предписанному интервалу от 5 до 120 мин.

А. Л. Кузнецов, А. С. Пучкова, Е. Ю. Князев, О. А. Суворов

Для приготовления стерильной питательной среды и чашек Петри использовался автоклав при температуре 120 °С, с выдержкой 20 минут; петрифильмы использовались готовые к использованию. После выполнения посевов все чашки и петрифильмы выдерживались в термостате 24 часа при температуре 37 °С, после осуществлялся подсчёт.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Входящие в состав электрохимически активированного водного раствора метастабильные соединения при близком к нейтральному pH 6,3–6,5 и преобладающими химическими составляющими являются высоко-биоцидные соединения хлорноватистой кислоты (HOCl) с положительным окислительно-восстановительным потенциалом (более + 500 мВ). Обработка поверхностей в помещениях общественного питания (производстве) ЭХАР, привело к снижению роста микроорганизмов в отличие от дезинфицирующего средства, выбранного предприятием или при обработке обычной водой.

Исследование рабочих поверхностей после проведения обработок

Результаты эксперимента со смывами с производственных поверхностей представлены на Рисунках 2–4, где смыв со стола — 1, смыв с весов — 2, смыв с ножа — 3, смыв с слайсера — 4, смыв с гастроемкости — 5.

По результатам эксперимента, представленным на Рисунке 2, как и ожидалось, видимая на первый взгляд чистота поверхностей, обработанных водой, содержала отдельные БГКП. Их наличие объясняется намеренным заражением и невозможностью смыть без дополнительных средств воздействия.

Использование даже небольшого количества дезинфицирующего средства с концентрацией $0,05 \pm 0,005$ г/л обеспечило практически полное обеззараживание, кроме сложного технологического устройства в виде слайсера. Изменение цвета 4го образца вызвано наличием отдельных БГКП, которые могли остаться в полостях. Полученные данные характеризуют возможности использования сниженных концентраций рабочего раствора, однако не подтверждают возможность полноценного применения использованных концентраций ввиду отсутствия количественных данных о степени заражения исходных поверхностей.

Использование неразбавленного дезинфицирующего средства с концентрацией $0,5 \pm 0,05$ г/л обеспечило полное обеззараживание, что подтвердило эффективность применения электрохимически активированных растворов в отношении БГКП. Однако, по результатам экспериментов можно сделать вывод, что требуется проводить подбор параметров, а точнее концентрации дезинфицирующего средства и длительность обработки в зависимости от объекта.

Рисунок 2

Смывы, полученные с поверхностей, обработанных водой

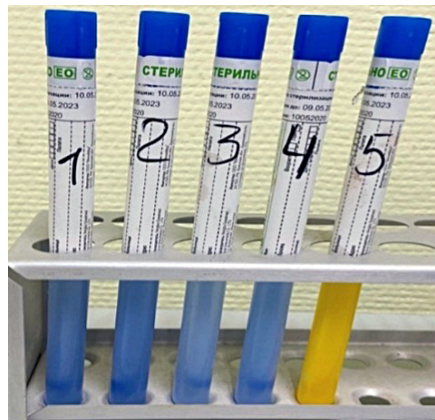


Рисунок 3

Смывы, полученные с поверхностей, обработанных дез. средством с конц. $0,05 \pm 0,005$ г/л при температуре 20 °С

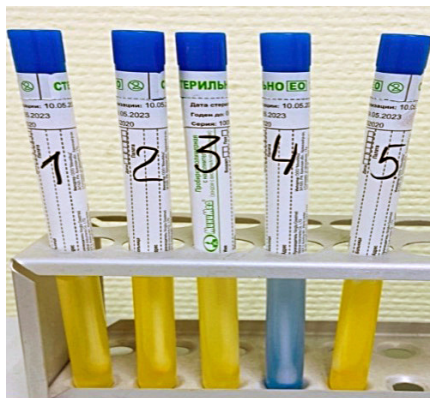
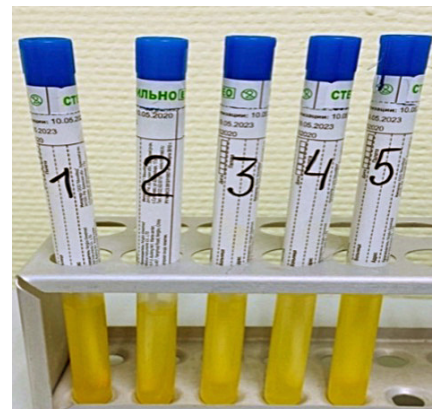


Рисунок 4

Смывы, полученные с поверхностей, обработанных дез. средством с конц. $0,5 \pm 0,05$ г/л при температуре 20 °С



А. Л. Кузнецов, А. С. Пучкова, Е. Ю. Князев, О. А. Суворов

Исследование пищевых продуктов после проведения обработок

Результаты эксперимента со смывами с плодов сладкого перца сорта «Авангард», которые благодаря своим вкусовым качествам употребляются в салатах в сыром виде. После каждой обработки исследуемый материал гомогенизировали, и полученный субстрат вносили на готовую питательную среду (петрифильм) и чашки Петри на определение БГКП и КМАФАнМ, результаты наглядно представлены на Рисунках 5–7.

Безреагентная мойка плодоовощной продукции водой совершенно не справляется с функцией обработки продуктов питания потенциально зараженных с повышенным содержанием КМАФАнМ, о чём свидетельству-

ет обильный рост общего микробного числа, а также наличие не допустимых в продуктах питания БГКП.

Дезинфицирующее средство при концентрациях 50 мг/л проявило эффективность по отношению образцов промытых водой, что отчетливо видно на Рисунке 6, который показывает значительное уменьшение КМАФАнМ и наличие всего 1 КОЕ БГКП, что также недопустимо в реальных условиях.

На третьем этапе эксперимента при концентрациях 500 мг/л была показана и доказана эффективность в отношении БГКП и общего микробного числа (Рисунок 7).

В процессе выполнения работ не рассматривалась вторая фракция электрохимического процесса — католит, так как по данным проведенных исследований он обла-

Рисунок 5

Выявление значительного количества БГКП и КМАФАнМ на исследуемом образце, обработанном обычной водой с выдержкой 10 минут

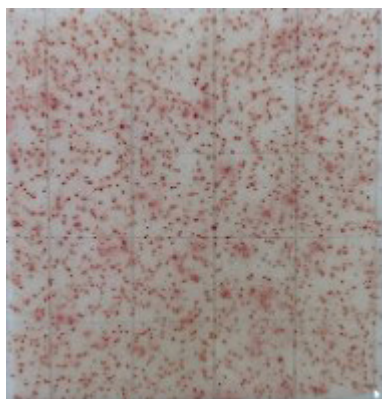
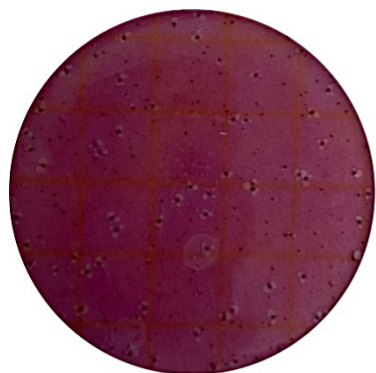


Рисунок 6

Выявление 1 КОЕ БГКП и значительное уменьшение общего микробного числа, на исследуемом образце, обработанном дез. средством с конц. $0,05 \pm 0,005$ г/л при температуре 20°C , с выдержкой 10 минут

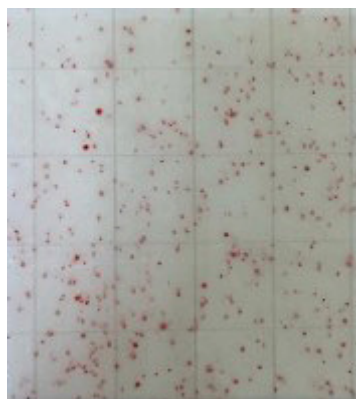
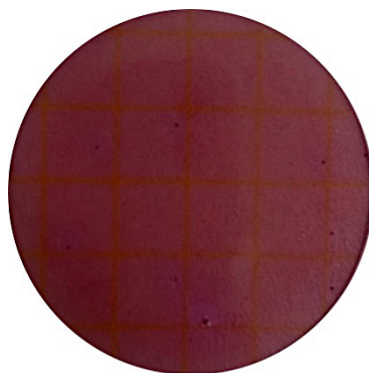
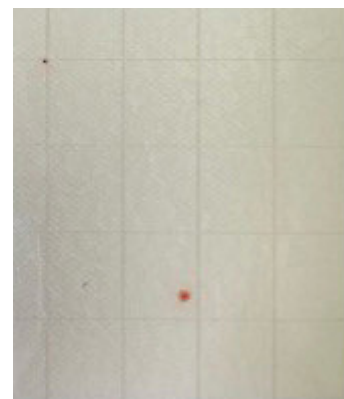


Рисунок 7

Отсутствие БГКМ и обнаружение всего 2 КОЕ КМАФАнМ на исследуемом образце, обработанном дез. средством с конц. $0,5 \pm 0,05$ г/л при температуре 20°C , с выдержкой 10 минут



дает противоположной способностью за счёт пониженного ОВП (Гомбоев, 2008, Попова, 2021, Сокол, 2021).

ВЫВОД

Применение ЭХАР методом орошения обеспечивало биологическую безопасность обработанных производственных объектов и поверхности термически не обрабатываемых пищевых продуктов. В результате проведенных исследований подтверждена эффективность дезинфицирующих средств на основе электрохимически активированных растворов против бактерий группы кишечной палочки (БГКП), снижение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) при концентрациях 500 мг/л и экспозиции 10 минут. Кроме того, среди возможных перспектив исследования можно назвать определение наименьших концентраций и времени контакта при стабильном достижении дезинфицирующего эффекта. Полученные результаты показали, что применение ЭХАР обеспечивало биологическую безопасность обработанных производственных объектов и поверхности термически не обрабатываемых пищевых продуктов.

Предложен альтернативный способ применения ЭХАР как универсального экологического средства. Универсальность заключается в использовании одного вида реагента для обеззараживания производственной среды и плодоовощной продукции. Таким образом, на производствах общественного питания возможно реализовать эффективный метод «зеленой» технологии на основе ЭХАР.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Кузнецов Александр Львович: написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Пучкова Анастасия Сергеевна: визуализация, проведение исследования.

Князев Евгений Юрьевич: курирование данных, написание — подготовка черновика рукописи.

Суворов Олег Александрович: научное руководство исследованием, концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Аронов, В.М. (2012). Обоснование комплексного применения электрохимически активированного раствора для дезинфекции и дезинсекции в птицеводстве. *Ветеринария*, 1, 17–20.
- Aronov, V. M. (2012). Justification for the comprehensive use of electrochemically activated solution for disinfection and disinfestation in poultry farming. *Veterinary Science*, 1, 17–20. (In Russ.)
- Бахир, В.М. (2014). *Электрохимическая активация. Изобретения, техника, технология*. ВИВА — СТАР.
- Bakhr, V. M. (2014). *Electrochemical Activation. Inventions, Engineering, Technology*. VIVA - STAR. (In Russ.)
- Бывальцев, А.И., Магомедов, Г.О., & Бывальцев, В.А. (2008). Свойства активированной воды и ее использование в пищевой промышленности. *Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья*, (7), 49–53.
- Byvaltsev, A. I., Magomedov, G. O., & Byvaltsev, V. A. (2008). Properties of activated water and its use in the food industry. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, (7), 49–53. (In Russ.)
- Гомбоев, Д. Д., & Данилова, А. А. (2008). Пребиотическое действие катодной фракции электрохимически активированных растворов поваренной соли при экспериментальном дисбиозе. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, 4(184), 85–90.
- Gomboev, D. D., & Danilova, A. A. (2008). Prebiotic effect of the cathode fraction of electrochemically activated solutions of table salt in experimental dysbiosis. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 4(184), 85–90. (In Russ.)
- Горбачева, М. В., Тарасов, В. Е., Сапожникова, А. И., & Калманович, С. А. (2020). Вытапливание жира в электрохимически активированной водной среде: технологические аспекты, безопасность и качество готового продукта. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 82(1), 169–177.
- Gorbacheva, M. V., Tarasov, V. E., Sapozhnikova, A. I., & Kalmanovich, S. A. (2020). Rendering fat in an electrochemically activated aqueous environment: technological aspects, safety, and quality of the final product. *Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies*, 82(1), 169–177. (In Russ.)

- Еканина, С.В., Королёва, Т.А., Помазанов, В.В., Марданлы, С.Г., Киселева, В.А., Рогожникова, Е.П., & Николаева, Н.П. (2021). Исследование влияния электрохимического воздействия на воду и водные субстанции биологически активных веществ на их противовирусные свойства. *Известия ГТТУ. Медицина, фармация*, 1, 17–26.
- Ekanina, S. V., Korolyova, T. A., Pomazanov, V. V., Mardanly, S. G., Kiseleva, V. A., Rogozhnikova, E. P., & Nikolaeva, N. P. (2021). Study of the effect of electrochemical impact on water and aqueous substances of biologically active substances on their antiviral properties. *GGTU News. Medicine, Pharmacy*, 1, 17–26. (In Russ.)
- Маркова, В.А., Попова, А.И., & Суворов, О.А. (2020). Высокоэффективные электрохимические технологии повышения безопасности продуктов животного происхождения. *Научные исследования XXI века*, 6(8), 36–44.
- Markova, V. A., Popova, A. I., & Suvorov, O. A. (2020). Highly effective electrochemical technologies for increasing the safety of animal products. *Scientific Research of the 21st Century*, 6(8), 36–44. (In Russ.)
- Миклис, Н. И., & Бурак, И. И. (2022). Эффективность профилактической аэрозольной дезинфекции помещений анолитом нейтральным. *Медицинский журнал*, 3(81), 10–17.
- Miklis, N. I., & Burak, I. I. (2022). Effectiveness of preventive aerosol disinfection of premises with neutral anolyte. *Medical Journal*, 3(81), 10–17. (In Russ.)
- Некрасова, Л. П., Михайлова, Р. И., & Рыжова, И. Н. (2020). Влияние электрохимической обработки на физико-химические свойства воды. *Гигиена и санитария*, 99(9), 904–910.
- Nekrasova, L. P., Mikhailova, R. I., & Ryzhova, I. N. (2020). The effect of electrochemical treatment on the physicochemical properties of water. *Hygiene and Sanitation*, 99(9), 904–910. (In Russ.)
- Погорелов, А.Г., Кузнецов, А.Л., Погорелова, В.Н., Суворов, О.А., Панайт, А.И., & Погорелова, М.А. (2019). Разрушение бактериальной пленки электрохимически активированным водным раствором. *Биофизика*, 4, 734–739. <https://doi.org/10.1134/S0006302919040124>
- Pogorelov, A. G., Kuznetsov, A. L., Pogorelova, V. N., Suvorov, O. A., Panait, A. I., & Pogorelova, M. A. (2019). Destruction of bacterial film by electrochemically activated aqueous solution. *Biophysics*, 4, 734–739. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0006302919040124>
- Погорелова, М.А., Суворов, О.А., Кузнецов, А.Л., Панайт, А.И., & Погорелов, А.Г. (2020). Актуальные проблемы безопасного обеззараживания гидропонных субстратов агропромышленных комплексов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 8(1), 12–21.
- Pogorelova, M. A., Suvorov, O. A., Kuznetsov, A. L., Panait, A. I., & Pogorelov, A. G. (2020). Current problems of safe disinfection of hydroponic substrates in agro-industrial complexes. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnologies*, 8(1), 12–21. (In Russ.)
- Попова, А.И., Панайт, А.И., Суворов, О.А., Кузнецов, А.Л., Ипатова, Л.Г., & Погорелов, А.Г. (2021). Использование электрохимически активированной воды для повышения биологической безопасности в прикладной биотехнологии. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 9(3), 5–13.
- Popova, A.I., Panait, A.I., Suvorov, O.A., Kuznetsov, A.L., Ipatova, L.G., & Pogorelov, A.G. (2021). The use of electrochemically activated water to improve biological safety in applied biotechnology. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnologies*, 9(3), 5–13. (In Russ.)
- Прокопенко, А.А., Ваннер, Н.Э., Куш, И.В., Филипенкова, Г.В., Новикова, С.И., & Бахир В.М. (2020). Технология дезинфекции ветсанобъектов направленными аэрозолями Анолита Перокс. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*, 3(35), 322–327.
- Prokopenko, A.A., Vanner, N.E., Kush, I.V., Filipenkova, G.V., Novikova, S.I., & Bakhir V.M. (2020). Disinfection technology of veterinary-sanitary facilities with directed aerosols of Anolyte Perox. *Russian Journal of Veterinary Sanitary, Hygiene and Ecology*, 3(35), 322–327. (In Russ.)
- Сокол, Н.В., & Атрощенко, Е.А. (2019). Исследование влияния электрохимически активированной воды на реологические свойства теста и качество хлеба. *Новые технологии*, (1), 170–177.
- Sokol, N.V., & Atroshchenko, E.A. (2019). Study of the influence of electrochemically activated water on the rheological properties of dough and bread quality. *New Technologies*, (1), 170–177. (In Russ.)
- Alexander, E. M. C., Brandao, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2012). Assessment of the impact of hydrogen peroxide solutions on microbial loads and quality factors of red bell peppers, strawberries and watercress. *Food Control*, 27, 362–368.
- Chen, B.K., & Wang, C.K. (2022). Electrolyzed Water and Its Pharmacological Activities: A Mini-Review. *Molecules*, 27(4). <https://doi.org/10.3390/molecules27041222>
- Gellynck, X., Messens, W., Halet, D., Grijspeerdt, K., Hartnett, E., & Viaene, J. (2008). Economics of reducing *Campylobacter* at different levels within the Belgian poultry meat chain. *Journal of food protection*, 71(3), 479–485
- Han, R., Liao, X., Ai, C., Ding, T., & Wang, J. (2021). Sequential treatment with slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and UVC light-emitting diodes (UVC-LEDs) for decontamination of *Salmonella typhimurium* on lettuce. *Food Control*, 123, 107738.

- Huang, Y.X., & Chen, H. Q. (2011). Effect of organic acids, hydrogen peroxide and mild heat on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 on baby spinach. *Food Control*, 22, 1178–1183.
- Jiménez-Pichardo, R., Regalado, C., Castaño-Tostado, E., & Santos-Cruz, J. (2016). Evaluation of electrolyzed water as cleaning and disinfection agent on stainless steel as a model surface in the dairy industry. *Food Control*, 60, 320–328. <https://doi.org/60.320-328>. 10.1016/j.foodcont.2015.08.011.
- Kim, C., & Hung, Y.C. (2012). Inactivation of *E.coli* O157:H7 on Blueberries by Electrolyzed Water, Ultraviolet Light, and Ozone. *Journal of Food Science*, 77(4), M206 — M211. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02595.x>.
- Kitanovski, V.D., Vlahova-Vangelova, D.B., Dragoev, S.G., Nikolov, H.N., & Desislav, K.B. (2018) Effect of electrochemically activated anolyte on the shelf-life of cold stored rainbow trout. *Food Science and Applied Biotechnology*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.30721/fsab.2018.v1.i1>
- Liu, Q., Chen, L., Laserna, A.K., He, Y., Feng, X., & Yang, H. (2020). Synergistic action of electrolyzed water and mild heat for enhanced microbial inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 revealed by metabolomics analysis. *Food Control*, 110, 107026.
- Pshenko, E.B., Shestakov, I.Ya., & Shestakov, V.I. (2019). Features of electroactivated water production at a coaxial electrode location. *Siberian Journal of Science and Technology*, 20(1), 119–125.
- Savchenko, A.A., Borisenko, A.A., Borisenko, L.A., Borisenko, A.A., Razinkova, V.G., & Trunova, E.D. (2021). Meat products for the fudnet market. *Modern Science and Innovations*, 4(36), 114–123.
- Stefanello, A., Magrini, L.N., Lemos, J.G., Garcia, M.V., Bernardi, A.O., Cichoski, A.J., & Copetti, M.V. (2020). Comparison of electrolyzed water and multiple chemical sanitizer action against heat-resistant molds (HRM). *International Journal of Food Microbiol*, 335, 108856.
- Suvorov, O. A. (2018). Electrochemical and electrostatic decomposition technologies as a means of improving the efficiency and safety of agricultural and water technologies. *International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*, 7(2), 43–52.
- Tenzin, S., Ogunniyi, A.D., Khazandi, M., Ferro, S., Bartsch, J., & Crabb, S. (2019). Decontamination of aerosolised bacteria from a pig farm environment using a pH neutral electrochemically activated solution (Ecas4 anolyte). *PLOS ONE*, 14(9), e0222765. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222765>
- Zang, Y.T., Bing, S., Li Y.J., Shu, D.Q., Huang, A.M., & Wu, H.X. (2019). Efficacy of slightly acidic electrolyzed water on the microbial safety and shelf life of shelled eggs. *Poultry Science*, 98(11), 5932–9. <https://doi.org/10.3382/ps/pez373>

Разработка обогащенных хлебобулочных изделий с использованием биотрансформации белоксодержащих растительных добавок в заквасках

А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская

Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: В хлебопекарной отрасли ключевая задача — создание качественных продуктов из разнообразного сырья для здорового питания населения. Технологии включают в себя использование добавок для улучшения качества, методы биотрансформации с заквасками и выбор ферментов с микроорганизмами. Биотрансформация изменяет сырье, давая продукт с лучшими вкусовыми качествами и пищевой ценностью. Применение заквасок требует аккуратного выбора микроорганизмов для оптимизации качества продукции.

Цель: Разработка технологии обогащенных хлебобулочных изделий путем биотрансформации соевой обезжиренной муки и протеина подсолнечника в качестве белоксодержащего растительного сырья для повышения пищевой ценности готовой продукции.

Материалы и методы: Объектами исследования в работе являлись хлебобулочные изделия, полученные с применением биотрансформации исследуемого растительного сырья, которую осуществляли чистыми культурами пробиотических микроорганизмов — мезофильными гомо- и гетероферментативными молочнокислыми и пропионовокислыми бактериями: *Lactobacillus casei*, *L.plantarum*, *L.acidophilus*, *L.fermenti*, *L.brevis*, *Propionibacterium freudenreichii subsp. Shermanii*. В исследовании использованы общепринятые стандартные методы определения органолептических и физико-химических показателей качества полуфабрикатов и готовых хлебобулочных изделий. Проводили определения показателя устойчивости к микробиологической порче разработанного хлебобулочного изделия.

Результаты: Обосновано применение в качестве источников растительного белка: полуобезжиренной соевой муки и протеина подсолнечника. На основании комплексных экспериментальных исследований, выявлен рациональный способ внесения полуобезжиренной соевой муки в закваску в количестве 25% к массе муки, заключающийся в кислотном и ферментативном гидролизе с последующей биотрансформацией бактериальной закваской на основе композиции молочнокислых микроорганизмов. Дополнительно для повышения содержания сбалансированного по аминокислотному составу белка, а также макро- и микроэлементов, витаминов и антиоксидантов, подобрана дозировка протеина подсолнечника в количестве 10 % к массе муки в рецептуре изделия.

Выводы: Разработана технология обогащенных хлебобулочных изделий, проведен расчёт пищевой ценности. Проведена комплексная оценка качества готовых изделий по органолептическим и физико-химическим показателям, а также установлен срок годности.

Ключевые слова: соевая мука; ферментативный гидролизат; бактериальная соевая закваска; протеин подсолнечника; пищевая ценность хлебобулочных изделий

Корреспонденция:

Белявская Ирина Георгиевна,
Российский биотехнологический университет,
125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11.
E-mail: belyavskaya@mgupp.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 05.01.2023

Принята: 15.03.2023

Опубликована: 30.09.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Кошелева, А.И., Богатырева, Т.Г., & Белявская, И.Г. (2023). Преобразование белоксодержащих растительных добавок путем биотрансформации в технологии хлебобулочных изделий. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 21-40. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.19>

Development of Enriched Bakery Products Using Biotransformation in Starter Cultures of Protein-Containing Vegetable Additives

Anna I. Kosheleva, Tatiana G. Bogatyreva, Irina G. Belyavskaya

Russian Biotechnological University,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: In the bakery industry, the key task is to produce quality products from diverse raw materials for healthy public nutrition. Technologies include the use of additives to enhance quality, biotransformation methods with starters, and the selection of enzymes and microorganisms. Biotransformation modifies the raw material, resulting in a product with superior taste qualities and nutritional value. The use of starters requires careful selection of microorganisms to optimize product quality.

Materials and Methods: The objects of research in the work were bakery products obtained by biotransformation of the studied plant raw materials, which was carried out by pure cultures of probiotic microorganisms – mesophilic homo- and heterofermentative lactic acid and propionic acid bacteria: *Lactobacillus casei*, *L. plantarum*, *L. acidophilus*, *L. fermenti*, *L. brevis*, *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *Shermanii*. The work uses generally accepted standard methods for determining organoleptic and physico-chemical quality indicators of semi-finished products and finished bakery products. The indicator of resistance to microbiological spoilage of the developed bakery product was determined.

Results: The use of defatted soy flour and sunflower protein as sources of plant protein has been justified. Based on comprehensive experimental studies, a rational method was identified for introducing defatted soy flour into the starter at 25% of the flour mass, which involves acid and enzymatic hydrolysis followed by biotransformation with a bacterial starter based on a composition of lactic acid microorganisms. Additionally, to increase the content of protein balanced in amino acid composition, as well as macro and microelements, vitamins, and antioxidants, a dosage of sunflower protein was selected at 10% of the flour mass in the product recipe.

Conclusion: A technology for enriched bakery products has been developed, and the nutritional value has been calculated. A comprehensive assessment of the quality of the finished products based on organoleptic and physico-chemical indicators has been conducted, and the shelf life has been determined.

Keywords: soy flour; enzymatic hydrolysate; soy starter culture; sunflower protein; nutritional value of bakery products

Correspondence:

Belyavskaya Irina Georgievna,
Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe shosse, Moscow,
Russian Federation, 125080.
E-mail: belyavskaya@mgupp.ru

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 05.01.2023

Accepted: 15.03.2023

Published: 30.09.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Kosheleva, A.I., Bogatyreva, T.G., & Belyavskaya, I.G. (2023). Development of enriched bakery products using biotransformation in starter cultures of protein-containing vegetable additives. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 21-40. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.19>

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года № 1364-р от 29 июня 2016 г ориентирована на обеспечение полноценного питания, стимулирование развития производства и обращения на рынке пищевой продукции надлежащего качества. В рамках программы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения предусмотрено расширение производства пищевых продуктов сбалансированного состава, обогащенных незаменимыми и биологически активными компонентами функционального назначения. Совершенствование технологии хлебопекарного производства на основе использования продуктов переработки зерновых и бобовых культур позволяет расширить ассортимент продукции здорового питания (Белявская, 2022).

Белки растительного и животного происхождения, поступающие с пищей, распадаются в организме человека до аминокислот, из которых затем образуются новые белки. Таким образом, белки в питании человека являются одним из основных факторов, регулярное поступление которых формирует здоровье организма человека, отражающих полноценность составов пищевых продуктов (Ауэрман, 2011). Высокой пищевой ценностью обладают белки мясных и молочных продуктов. Из растительных белков хорошо сбалансированы по аминокислотному составу белки семян бобовых культур. В них содержатся почти все незаменимые аминокислоты, наиболее дефицитные из которых — лизин, триптофан и треонин. Однако в белках семян бобовых не хватает серосодержащих аминокислот. В составе белков злаковых культур наблюдается обратная тенденция: часто не хватает лизина, треонина и триптофана, однако содержится достаточное для питания человека количество серосодержащих аминокислот. Пищевые белки бобовых и злаков хорошо дополняют друг друга и в смеси приближаются к полноценным животным белкам. Согласно рекомендациям ФАО ВОЗ и ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии» суточная норма потребления белка для взрослого человека составляет 80–100 г или 1,0–1,5 г на 1 кг массы тела (для детей — 1,5–4,0 г на 1 кг массы тела) (Тутельян, 2023). Одним из способов, направленных на борьбу с белковой недостаточностью в питании населения, является производство пищевых продуктов, обогащенных дополнительным количеством белка.

Целью данного исследования явилась разработка технологии обогащенных хлебобулочных изделий путем биотрансформации соевой обезжиренной муки и протеина подсолнечника в качестве белоксодержащего растительного сырья для повышения пищевой ценности готовой продукции.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Современные тренды создания хлебобулочных изделий

Современное создание хлебобулочных изделий направлено на повышение их биологической ценности, содержания пищевых волокон, полиненасыщенных жирных кислот, витаминов, микро- и макроэлементов и других биологически активных веществ. Их источниками являются как нетрадиционное хлебопекарное сырье: гречиха, ячмень, рис, лен, бобовые (Драчева, 2001), масличные культуры (Гершончик, 2022), так и пророщенные зерна зерновых и бобовых культур (Богатырева, 2011).

Проблемы использования нетрадиционного растительного сырья

Использование нетрадиционных видов растительного сырья в технологиях хлебопекарного производства требует специализированного подхода к его переработке. При непосредственном добавлении зерновых, крупяных и семенных масс возникают определенные трудности на стадии приготовления полуфабрикатов, что связано со степенью измельчения, высокой водопоглотительной способностью, слишком высокой или слишком низкой ферментативной активностью, отсутствием структур, образующих клейковину. Такие отличительные свойства сырья отрицательно сказываются на процессах замеса, брожения, разделки, формовки мучных полуфабрикатов и выпечки готовых хлебобулочных изделий. Органолептические и физико-химические показатели выпеченных изделий не отвечают нормативным и потребительским требованиям.

Преимущества использования обогащающих добавок натурального происхождения

Использование обогащающих добавок натурального происхождения способствует увеличению белковой, витаминной, минеральной ценности хлеба, увеличению содержания пищевых волокон, снижению энергетической ценности готовой продукции. Внесение натуральных добавок имеет преимущества перед использованием химических улучшителей, композитных смесей, поскольку в таком виде макро- и микронутриенты находятся в естественных пропорциях и более эффективно усваиваются организмом человека (Yang, 2021).

Процесс биотрансформации растительного сырья основан на применении кислотообразующей микрофлоры с целью последующего использования ферментативных гидролизатов в пищевых технологиях различных отраслей промышленности. Под влиянием комплексной ферментативной переработки сырья происходит глубокая деструкция клеточных стенок и отдельных структурных компонентов, например, сложные полисахариды — пектиновые вещества, целлюлоза, гемицеллюлоза — расщепляются до простых сахаров и аминокислот, которые используются в биосинтезе микроорганизмов (Белявская, 2022).

Биологическая конверсия ячменной муки

В хлебопекарной промышленности России технология хлебопекарного производства характеризуется использованием стартерных культур молочнокислых, пропионовых бактерий и дрожжей видов *Saccharomyces cerevisiae* и *Saccharomyces minor*, которые применяются в виде пшеничных и ржаных заквасок. Закваски обладают следующими функциями: стабилизация реологических свойств полуфабрикатов, предотвращение микробиологической порчи, улучшение вкуса и запаха готовых изделий (Богатырева, 2014).

Реализацию биологической конверсии можно рассмотреть на примере ячменной муки, которая применяется только в смеси с ржаной или пшеничной мукой. При замесе в чистом виде ячменная мука дает малоэластичное, плотное тесто с низкой газоудерживающей способностью, из-за чего хлеб получается малообъемный с неразвитой пористостью. Это связано с наличием большого количества слизистых веществ и медленно

протекающим процессом образования клейковинного комплекса. Для образования однородной структуры теста, необходима высокая температура применяемой воды и более длительное время для его созревания. Исследования, направленные на предварительную обработку ячменной муки специально подобранной композицией микроорганизмов, позволило интенсифицировать процессы кислотонакопления и газообразования в тесте, что благоприятно отразилось на реологических показателях полуфабрикатов и качестве готовых изделий (Богатырева, 2013).

Применение сои в пищевой промышленности

Соевая мука и протеин подсолнечника являются перспективными ингредиентами для преобразования рецептуры хлебобулочных изделий для здорового питания (Teleky, 2020, Zhou, 2018). В России практикуется применение продуктов переработки сои в различных отраслях пищевой промышленности. Получило развитие применение соевой муки в производстве композитных улучшителей для хлеба и хлебобулочных изделий (Драчева, 2001). Соевое масло широко используют для приготовления маргарина, шортингов, майонеза и других высококалорийных продуктов питания (Зеленцов, 2006). Пищевыми продуктами, вырабатываемыми из сои, являются: соевое молоко, соевая мука, тофу, текстурированный соевый белок, изоляты соевого белка, соевые концентраты. В пищевой промышленности широко применяется обезжиренная соевая мука для приготовления хлебобулочных и кондитерских изделий (Zhou, 2018). Реже используется соевый шрот в качестве пищевой добавки в мучные и сахаристые кондитерские изделия как заменитель орехов и ядер семян масличных культур (Otegbayo, 2018). Соя является экономически выгодной культурой, которая пользуется устойчивым спросом на мировом рынке (Типсина, 2021).

Установлено, что добавление обезжиренной соевой муки к пшеничной в количестве 3–5 % положительно влияет на качество получаемого хлеба: улучшается внешний вид изделий, увеличивается пористость, процесс черствения хлеба замедляется (Ефремова, 2020). Известны работы по замене меланжа на продукты ферментативного гидролиза соевой муки в технологии производства кексов. Применение соевой гидролизованной муки позволяет интенсифицировать процесс брожения теста и сократить время его приготовления,

а также приводит к замедлению процесса черствения кексов (Милорадова, 2013). Соевые концентраты и изоляты, характеризуются высокой долей белка (до 90 % на сухое вещество) и высокой степенью его очистки от других компонентов: жиров, углеводов и пищевых волокон. Белки в таком виде лучше усваиваются организмом человека, а также обладают высокими показателями влаго- и жиросвязывающей способности, пено- и эмульгирующей способности и в пищевых технологиях выполняют роль текстурообразователей. Соевый изолят можно комбинировать с другими видами белка для оптимизации аминокислотного состава композиции, например, с сывороточным изолятом или сухой пшеничной клейковиной (Алехина, 2020).

Проводились исследования в области применения белковых соевых концентратов. Текстураты используются как заменитель мяса в кулинарии. Изоляты соевого белка применяются в качестве добавок в мясной продукции, хлебобулочных изделиях и замороженных десертах. Гидролизаты (продукты с частично расщепленным белком) являются питательной средой для дрожжей, используются в косметической промышленности и применяются как пищевые добавки для спортивного питания (Бычкова, 2021). Соевый белок получает все большее признание как высокопитательный, функциональный и рентабельный пищевой ингредиент, позволяющий увеличить пищевую ценность готовой продукции (Петибская, 2012).

Внесение соевой муки в рецептуру пшеничного хлеба способствует увеличению удельного объема хлеба на 10–15 %, обогащает состав хлеба полноценным белком на 20–50 %. Внесение соевой муки способствует увеличению такого показателя как водопоглощательная способность теста. Изделия, изготовленные с добавлением соевой муки, характеризовались более интенсивной окраской корки за счет большего количества продуктов реакции меланоидинообразования. Изделия с частичной заменой пшеничной муки на соевую характеризуются улучшенными органолептическими и основных физико-химических показателей хлеба, более длительным сроком сохранения свежести (Мхитарьянц, 2020).

Проводились экспериментальные исследования по использованию молочнокислых бактерий и дрожжей в заквасках для теста из пшеничной муки, обогащенного соевой мукой. В результате исследования был сде-

лан вывод о том, что ферментация на закваске позволяет улучшить питательные качества хлеба и увеличить срок хранения (Masure, 2019). Также возможно внесение соевой окары (побочный продукт, образующийся после выработки соевого молока) в рецептуру хлебобулочных изделий. Окара в своем составе содержит около 5 % белка, 4 % жира, является источником железа и пищевых волокон. Белок соевой окары является более полноценным, чем белок пшеницы, благодаря этому внесение окары оказывает положительный эффект на пищевую и биологическую ценность хлеба (Куницына, 2022).

В настоящее время интерес к сое как сельскохозяйственной культуре третьего тысячелетия растет и в связи с ее высокой экологичностью. Благодаря своей способности связывать атмосферный азот, она в большей степени обеспечивает защиту окружающей среды. Происходит дополнительное питание растения азотом за счет связывания атмосферного азота и поглощения минерального азота из почвы: нет необходимости вносить синтетические азотные удобрения, способные вызывать загрязнение подземных вод (Федотов, 1998).

Изолят подсолнечного шрота

Положительный эффект оказало внесение в рецептуру хлеба изолята подсолнечного шрота (Sa, 2021). Изолят вносился в виде белково-жировой эмульсии, при его введении пористость мякиша увеличилась на 4 %, удельный объем — на 5,3 %, формоустойчивость — на 4,7 %, содержание белка — на 19 %. При этом улучшается аминокислотный состав композиции: содержание большинства незаменимых аминокислот увеличилось на 12–13 %, содержание валина на 16 % и метионина на 20 % (Гершончик, 2022).

Функциональные ингредиенты для создания хлебобулочных изделий здорового питания

Соевая мука и протеин подсолнечника являются перспективными функциональными ингредиентами для преобразования рецептуры хлебобулочных изделий при создании продукции здорового питания. Подтверждением целесообразности использования соевой полуобезжиренной муки и протеина подсолнечника в технологии хлебобулочных изделий являются данные химического состава, представленные в Таблицах 1–3.

Таблица 1

Сравнительный химический состав пшеничной и соевой муки по основным питательным веществам

Наименование показателя	Количество в 100 г муки	
	пшеничной хлебопекарной высшего сорта	соевой полуобезжиренной
Белки, г	10,3	43,0
Жиры, г	1,1	9,5
Углеводы, г	74,2	19,1
Крахмал, г	70,6	—
Пищевые волокна, г	3,5	14,5
Зола, г	0,5	4,9
Na, мг	3	5
K, мг	122	1600
Ca, мг	18	217
Mg, мг	16	200
P, мг	86	600
Fe, мг	1,2	9,0
β-каротин, мкг	0	50
B ₁ , мг	0,17	0,83
B ₂ , мг	0,04	0,24
PP, мг	1,2	2,1
ТЭ, мг	1,5	1,5
НЭ, мг	3,0	11,3

Из представленных данных следует, что в соевой полуобезжиренной муке растительного белка содержится на 32,7 %, жира на 8,4 %, пищевых волокон на 11 % больше, а углеводов на 55,1 % меньше по сравнению с пшеничной мукой высшего сорта.

Представленный в таблице 2 аминокислотный состав белков соевой и пшеничной муки показывает, что содержание незаменимых аминокислот в соевой муке в 1,5–2,0 раза выше по сравнению с пшеничной мукой.

Соя является не только источником белка, но и жиров (соевое масло), содержание которого в семенах колеблется от 16 до 27 %. Отличительной особенностью сои является самое высокое содержание фосфолипидов по сравнению с другими культурами. Фосфолипиды обладают антиоксидантной активностью, способствуют регенерации мембран, увеличивают детоксикацион-

Таблица 2

Аминокислотный состав соевой и пшеничной муки

Наименование аминокислоты	Количество аминокислоты в муке, г/100 г	
	пшеничной хлебопекарной высшего сорта	соевой полуобезжиренной
Аргинин	0,63	2,61
Валин	0,58	1,74
Гистидин	0,28	1,02
Изолейцин	0,52	1,64
Лейцин	0,97	2,75
Лизин	0,34	2,18
Метионин	0,18	0,68
Треонин	0,37	1,51
Триптофан	0,14	0,65
Фенилаланин	0,62	1,69

Таблица 3

Химический состав и степень удовлетворения суточной потребности при потреблении протеина подсолнечника

Наименование	Количество в 100 г	Среднесуточная норма потребления	Удовлетворение суточной потребности при потреблении 100 г, %
Энергетическая ценность, ккал	449	2500	18,0
Белки, г	82,5	75	110,0
Жиры, г	4,6	83	5,5
Углеводы, г	3,4	365	0,9
Витамины			
Витамин B ₁ , тиамин, мг	0,64	1,4	45,7
Витамин B ₆ , пиридоксин, мг	0,54	2	27,0
Витамин B ₉ , фолаты, мкг	0,11	200	0,1
Витамин E, альфа токоферол, мг ТЭ	3,72	10	37,2
Макроэлементы			
Калий, мг	1150	3500	32,9
Кальций, мг	110	1000	11
Магний, мг	200	400	50
Натрий, мг	110	2300	4,8
Фосфор	480	800	60
Микроэлементы			
Железо, мг	12,9	14	92,1

ную способность печени, снижают у больных диабетом потребность в инсулине, предотвращают дегенеративные изменения в нервных клетках, мышцах, способствует укреплению капилляров. Ненасыщенные, в том числе и полиненасыщенные (ПНЖК) жирные кислоты преобладают в соевом масле (86–87% от общего количества). К биологически активным веществам соевого масла относятся также токоферолы, обладающие выраженными антиокислительными свойствами (Смагина, 2011). Характерной особенностью сои является невысокое содержание углеводов. Углеводы в сое представлены растворимыми сахарами: моносахаридами (глюкоза, фруктоза), дисахаридом сахарозой, трисахаридом рафинозой и тетрасахаридом стахиозой, а также гидролизуемыми полисахаридами (крахмалом и др.) и нерастворимыми структурными полисахаридами (гемицеллюлозой, пектиновыми веществами и др.). Фракция растворимых углеводов на 99% представлена олигосахаридами сахарозой, рафинозой и стахиозой, в состав которых входят молекулы глюкозы, фруктозы и галактозы.

Ингибиторы

Несмотря на высокое содержание белка и отдельных аминокислот соевая мука содержит вещества, оказывающие ингибирующие действие на протеолитические ферменты в организме человека и снижает уровень их потребления. Ингибиторы протеаз составляют 5–10% от общего количества белка в семенах сои. Отличительной особенностью этих веществ является установленное взаимодействие с ферментами, предназначенными для расщепления белков (трипсином, пепсином), при этом они образуют устойчивые комплексы, лишённые ферментативной активности. Результатом такой блокады является снижение уровня усвоения белковых веществ рациона. Попадая в желудок, часть ингибиторов (30–40%) теряет свою активность, но наиболее устойчивые достигают двенадцатиперстной кишки в активной форме и могут ингибировать ферменты, вырабатываемые поджелудочной железой (Кан, 2010).

К ингибиторам протеолитических ферментов относятся лектины, уреазы, липоксигеназы. Лектины (фитогемагглютинины) представляют собой гликопротеины, которые составляют от 2 до 10% всего белка сои и хорошо извлекаются водой или спиртом. Уреаза — фермент, который осуществляет гидролитическое расщепление мочевины с образованием аммиака

и углекислого газа. В цельных семенах сои доля уреазы может достигать 6% от количества всех белков. Липоксигеназа — фермент, содержащийся в сое и играющий большую роль в окислении липидов (Риццо, 2015). Ингибирующая активность трипсина и пепсина соевой муки может быть снижена за счёт предварительного кислотного, ферментативного гидролиза с последующей биотрансформацией кислотообразующими микроорганизмами.

Протеин подсолнечника

Химический состав протеина подсолнечника, в основном, представлен растительным белком (82%) с полным спектром незаменимых и заменимых аминокислот (Таблица 4). Обнаруженная в протеине из семян подсолнечника хлорогеновая кислота обладает высокой антиоксидантной активностью, которая в 27 раз превосходит активность флавоноида нарингенина. Эффективность проявления антиоксидантных свойств различных кислот можно представить по следующей схеме: кофейная кислота > феруловая кислота > хлорогеновая кислота >> нарингенин (Shchekoldina, 2014). Таким образом, обезжиренная соевая мука и протеин подсолнечника являются ценными источниками растительного белка и могут быть использованы в рецептуре для разработки хлебобулочного изделия.

Таблица 4

Аминокислотный состав белков протеина подсолнечника

Наименование незаменимой аминокислоты	Количество, г/100 г белка	Наименование заменимой аминокислоты	Количество, г/100 г белка
Аргинин	7,84	Аланин	2,92
Валин	4,58	Аспарагиновая кислота	8,61
Изолейцин	3,76	Глицин	4,73
Лейцин	5,55	Глутаминовая кислота	24,72
Лизин	6,53	Пролин	3,51
Метионин	1,71	Серин	3,63
Треонин	2,95	Тирозин	2,29
Триптофан	1,43		
Фенилаланин	4,67		

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на кафедре зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

Материалы

Объектами исследования являлись хлебобулочные изделия, полученные с применением биотрансформации исследуемого растительного сырья, которую осуществляли чистыми культурами пробиотических микроорганизмов — мезофильными гомо- и гетероферментативными молочнокислыми и пропионовокислыми бактериями: *Lactobacillus casei*, *L.plantarum*, *L.acidophilus*, *L.fermenti*, *L.brevis*, *Propionibacterium freudenreichii subsp. Shermanii*.

В качестве сырья использовали муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта по ГОСТ 26574–2017, дрожжи хлебопекарные прессованные по ГОСТ Р 54731–2011, сахар белый по ГОСТ 33222–2015, маргарин по ГОСТ 32188–2013, соль пищевую сорта экстра по ГОСТ Р 51574–2018, кислоту лимонную по ГОСТ 908–2004, муку соевую дезодорированную полуобезжиренную по ГОСТ 3898–56, протеин подсолнечника в соответствии с СТО 33403405–001-2020, ферментные препараты Глюзим Моно 10000 БГ, обладающий глюкозооксидазной активностью, Пентопан 500 БГ — ксиланазной активностью и Фунгамил 2500 БГ — амилазной активностью.

Оборудование

В качестве оборудования использовали лабораторное оборудование: весы, тестомесильную машину спиральную электрическую ТМС- 40НН-1Р (серии LIGHT), шкаф АВАТ ШРТ-12 без использования пароувлажнения для брожения полуфабрикатов и с пароувлажнением для расстойки тестовых заготовок, конвекционную печь КЭП-4Э.

Методы

В работе использованы общепринятые стандартные методы определения органолептических и физико-химических показателей качества полуфабрикатов и готовых хлебобулочных изделий.

Биотрансформацию соевой полуобезжиренной муки осуществляли с использованием предварительного кислотного гидролиза лимонной кислотой в сочетании с биохимическим воздействием ферментными препаратами ксиланазного и амилазного действия водно-мучной суспензии всего объема полуобезжиренной соевой муки с последующим добавлением смеси гомо- и гетероферментативных молочнокислых и пропионовых бактерий.

Тесто замешивали на электрической тестомесильной спиральной машине в течение 5–7 минут. Соль пищевую и сахар белый вносили в растворенном виде, дрожжи прессованные хлебопекарные в виде суспензии, дополнительные компоненты в соответствии с рецептурами. Этап брожения теста проводили в шкафу АВАТ ШРТ-12 без использования пароувлажнения при температуре 30–32 °С, во время брожения тесто подвергали обминке через час. Тесто разделяли на куски массой 400 г, укладывали в формы для выпечки, которые помещали в расстоечный шкаф АВВТ ШРТ-12 с применением пароувлажнения при температуре 35–38 °С и относительной влажности воздуха 75–80 %. Готовность тестовых заготовок к выпечке определяли по органолептическим показателям. После расстойки тестовые заготовки выпекались в конвекционной печи КЭП-4Э при $T = 210\text{--}180\text{ }^{\circ}\text{C}$, в течение 20 мин — подовый, 25 мин — формовой. После выпечки контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий охлаждали до температуры $25 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. В готовых образцах исследовали показатели качества: органолептические показатели качества (внешний вид, состояние мякиша, вкус и запах) и физико-химические (масса изделия через 1 час выпечки, объем, формоустойчивость, влажность мякиша, реологические свойства мякиша).

Готовые изделия упаковывались в полипропиленовые пакеты на упаковочном аппарате «Термопак». Определение показателя устойчивости к микробиологической порче хлебобулочных изделий проводили визуальным методом, оценивая его поверхность при хранении.

Определение показателей пищевой ценности хлебобулочных изделий осуществляли расчетным способом по стандартным методикам. Наличие хлорогеновой кислоты устанавливали по характерному окрашиванию проб с протеином подсолнечника в щелочной среде.

Полученные в трехкратной повторности экспериментальные результаты исследований обрабатывали статистическими методами в программе Matstat и представляли средним арифметическим значением.

Процедура исследования

На первом этапе исследований определяли влияние соевой полуобезжиренной муки в количестве 25 % при однофазном способе тестоприготовления, а также применения ферментных препаратов, обладающих глюкозооксидазной и ксиланазной активностью, на показатели качества и микробиологическую устойчивость хлебобулочных изделий при хранении.

На втором этапе исследований приготовление теста проводили с внесением предварительно приготовленного ферментативного соевого гидролизата. Ферментативный гидролизат соевой муки готовили следующим образом: соевую муку смешивали с водой с температурой 40 °С в соотношении 1 : 2, тщательно перемешивали и вносили по 1 см³ предварительно разведённых ферментных препаратов глюкозооксидазного и ксиланазного действия из расчета 2 мг на 100 г муки. Ферментативное воздействие проводили в термостате при 40 °С в течение 2 ч. Проводили сравнительную оценку показателей качества хлебобулочных изделий.

На третьем этапе исследовали влияние способа введения соевой муки в рецептуру изделия путем биотрансформации под влиянием комбинации гомо- и гетероферментативных молочнокислых и пропионовых бактерий в различных соотношениях. Для получения бактериальной закваски полуобезжиренную соевую муку смешивают с водой с температурой 38–40 °С с гидро модулем 1:2–1:3, в полученный полуфабрикат добавляют 0,15–0,2 % лимонной кислоты к массе соевой муки в полуфабрикате, вводили водный раствор ферментных препаратов ксиланазного и амилазного действия из расчета 2 мг на 100 кг муки, помещали в термостат с аналогичной температурой на 1–2 часа. По окончании кислотной и ферментативной обработки соевого полуфабриката его охлаждали до 33–35 °С и вносили пробиотические микроорганизмы: мезофильные гомо- и гетероферментативные молочнокислые и пропионовокислые бактерии. Определяли состав заквасочных культур и технологические параметры, формирующие наилучшие показатели качества и микробиологическую устойчивость готовых изделий.

На четвертом этапе установленный рациональный способ введения полуобезжиренной соевой муки в рецептуру теста из пшеничной муки использовали в качестве базисного при определении допустимой дозировки протеина из семян подсолнечника в количестве

от 10 до 15 % к массе муки. Определяли влияние протеина подсолнечника на показатели качества изделий, устанавливая рациональную рецептуру приготовления продукции, а также пищевую ценность обогащенных растительными белками хлебобулочных изделий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с целью исследования поэтапно решали задачи для преобразования рецептуры хлебобулочных изделий из пшеничной муки высшего сорта за счет включения белоксодержащих функциональных добавок. При определении способа введения полуобезжиренной муки и дозировки протеина подсолнечника основными критериями оценки технологии являлись качественные показатели готовых изделий и их микробиологическая устойчивость при хранении.

При определении способа введения соевой муки в тесто проведена серия исследований, включающая несколько этапов: на первом этапе полуобезжиренную соевую муку вводили при замесе теста в количестве 25 %, при этом для улучшения реологических показателей полуфабриката и готовой продукции в тесто использовали водные растворы ферментных препаратов. Приготовление пшеничного хлеба с применением соевой муки и ферментных препаратов, а также контрольного образца проводилось в лабораторных условиях согласно рецептуре, приведённой в Таблице 5.

Таблица 5

Рецептура приготовления контрольного и обогащённых образцов пшеничного хлеба

Наименование сырья	Расход сырья по вариантам, г			
	1 (контроль)	2	3	4
Мука пшеничная высшего сорта	400	300	300	300
Соевая мука	—	100	100	100
Дрожжи прессованные хлебопекарные	12	12	12	12
Соль пищевая	6	6	6	6
Сахар белый	16	16	16	16
Маргарин	12	12	12	12
Ферментный препарат глюкозооксидазы	—	—	0,008	
Ферментный препарат ксиланазы				0,008

Результаты исследования физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий представлены в Таблице 6.

Сравнительный анализ органолептических и физико-химических показателей различных образцов хлебобулочных изделий показал, что непосредственное введение соевой муки в рецептуру теста оказывает отрицательное влияние на внешний вид, состояние пористости, удельный объем, показатель пористости хлебобулочных изделий. Так, показатель удельного объема хлебобулочных изделий снижался более чем в два раза при использовании в рецептуре полуобезжиренной соевой муки в исследуемом количестве. Однофазный способ приготовления теста, а также применение исследованных ферментных препаратов глюкозооксидазы и ксилазы в изученных дозировках не выявило положительного эффекта. Результаты определения микробиологической устойчивости хлебобулочных изделий приведены в Таблице 7.

Анализ показателя микробиологической устойчивости показал, что первые признаки микробиологической порчи в образце, приготовленному по варианту 1, выявляются на 3-и сутки в виде развития на поверхности колоний плесени белого и зеленого цвета. В образцах 2 и 3 микробиологическая порча выявляется на 4-е сутки одновременно с контрольным образцом.

На втором этапе исследований приготовление теста проводили с введением предварительно приготовленного ферментативного соевого гидролизата. Ферментативный гидролизат соевой муки готовили следующим образом: соевую муку смешивали с водой с температурой 40 °С в соотношении 1:2, тщательно перемешивали и вносили по 1 см³ предварительно разведённых ферментных препаратов глюкозооксидазного и ксиланазного действия. Ферментативное воздействие проводили в термостате при 40 °С в течение 2 ч. Приготовление пшеничных хлебобулочных изделий хлеба с применением ферментативного соевого гидролизата, а также

Таблица 6

Физико-химические показатели хлебобулочных изделий с соевой мукой по вариантам

Наименование показателя	Значение показателя хлебобулочного изделия, приготовленного по вариантам			
	1	2	3	4
Масса, г	332,9 ± 0,5	356,2 ± 0,5	348,5 ± 0,5	341,9 ± 0,5
Объём, см ³	1330 ± 20	630 ± 20	650 ± 20	620 ± 20
Удельный объём, см ³ /г	4,00 ± 0,15	1,77 ± 0,15	1,87 ± 0,15	1,81 ± 0,15
H/D	0,34 ± 0,1	0,43 ± 0,1	0,32 ± 0,1	0,30 ± 0,1
Пористость мякиша, %	77 ± 2	61 ± 2	63 ± 2	64 ± 2
Титруемая кислотность мякиша, град	1,6 ± 0,2	1,8 ± 0,2	1,8 ± 0,2	1,8 ± 0,2
Влажность мякиша, %	36,2 ± 0,5	40,2 ± 0,5	39,8 ± 0,5	39,6 ± 0,5

Таблица 7

Микробиологическая устойчивость контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий с соевой мукой

Продолжительность хранения, ч	Характеристика хлебобулочного изделия, приготовленного по варианту			
	1	2	3	4
24	Микробиологическая порча не обнаружена			
48	Микробиологическая порча не обнаружена			
72	Микробиологическая порча не обнаружена	На поверхности обнаружены колонии плесени белого и зеленого цвета	Микробиологическая порча не обнаружена	
96	На поверхности обнаружены колонии плесени черного и зеленого цвета	На поверхности обнаружены многочисленные колонии плесени белого, зеленого и черного цвета	Обнаружены колонии плесени белого цвета	Обнаружены колонии плесени белого цвета

А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская

контрольного образца проводилось в лабораторных условиях согласно рецептуре, приведённой в Таблице 8.

Таблица 8

Рецептура приготовления контрольного и обогащённых образцов пшеничного хлеба

Наименование сырья	Расход сырья, г			
	1	2	3	4
Мука пшеничная высшего сорта	400	370	350	300
Ферментативный гидролизат соевой муки	—	100	150	210
Дрожжи прессованные хлебопекарные	12	12	12	12
Соль пищевая	6	6	6	6
Сахар белый	16	16	16	16
Маргарин	12	12	12	12

По органолептическим показателям хлебобулочные изделия с ферментативным гидролизатом соевой муки

приближаются к контрольному варианту за исключением показателя пористости, которая неравномерно распределена по объёму мякиша.

Результаты исследования физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий представлены в Таблице 9.

Значения физико-химических показателей хлебобулочные изделия с ферментативным гидролизатом соевой муки значительно уступают контрольному образцу, как по удельному объёму на 0,46–1,64 см³/г, так и по показателю пористости на 2–10%. Применение ферментативного гидролизата соевой муки повышало титруемую кислотность мякиша готовых изделий на 0,8–1,6 град.

Анализ микробиологической устойчивости образцов хлебобулочных изделий с использованием ферментативного гидролизата соевой муки показал, что появление на поверхности видимых колоний плесени черного, зеленого и белого цвета наблюдается на 4-ые сутки (Таблица 10).

Таблица 9

Физико-химические показатели качества исследуемых образцов

Наименование показателя	Значение показателей качества хлебобулочных изделий, приготовленных по вариантам			
	1	2	3	4
Масса, г	332,9 ± 0,5	322,0 ± 0,5	336,2 ± 0,5	338,7 ± 0,5
Объём, см ³	1330 ± 20	1140 ± 20	870 ± 20	800 ± 20
Удельный объём, см ³ /г	4,00 ± 0,15	3,54 ± 0,15	2,59 ± 0,15	2,36 ± 0,15
H/D	0,34 ± 0,1	0,24 ± 0,1	0,32 ± 0,1	0,30 ± 0,1
Пористость мякиша, %	77 ± 2	70 ± 2	68 ± 2	67 ± 2
Титруемая кислотность мякиша, град	1,6 ± 0,2	2,2 ± 0,2	2,8 ± 0,2	3,2 ± 0,2
Влажность мякиша, %	36,2 ± 0,5	40,2 ± 0,5	41,6 ± 0,5	42,15 ± 0,5

Таблица 10

Микробиологическая устойчивость контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий с соевой мукой

Продолжительность хранения, ч	Характеристика хлебобулочных изделий, приготовленных по варианту			
	1	2	3	4
24	Микробиологическая порча не обнаружена			
48	Микробиологическая порча не обнаружена			
72	Микробиологическая порча не обнаружена			
96	На поверхности обнаружены колонии плесени черного и зеленого цвета	На поверхности обнаружены многочисленные колонии плесени белого, зеленого и черного цвета	Обнаружены колонии плесени белого цвета	Обнаружены колонии плесени белого цвета

Несмотря на лучшие результаты по критическим показателям данный способ введения соевой муки нельзя отнести к наиболее эффективному, так как качество хлебобулочных изделий, устойчивость к микробиологической порче оставались на низком уровне, а незначительный показатель титруемой кислотности не гарантировал подавление активности ингибиторов протеаз.

Наиболее целесообразным и эффективным явился способ введения соевой муки в закваске путем биотрансформации под влиянием комбинации гомо- и гетероферментативных молочнокислых и пропионовых бактерий в различных соотношениях. Для получения бактериальной закваски полуобезжиренную соевую муку смешивают с водой с температурой 38–40 °С с гидро модулем 1 : 2–1 : 3, в полученный полуфабрикат добавляют 0,15–0,2 % лимонной кислоты к массе соевой муки в полуфабрикате, вводили водный раствор ферментных препаратов ксиланазного и амилазного действия из расчета 2 мг на 100 кг муки, помещали в термостат с аналогичной температурой на 1–2 часа. По окончании кислотной и ферментативной обработки соевого полуфабриката его охлаждали до 33–35 °С и вносили пробиотические микроорганизмы: мезофильные гомо- и гетероферментативные молочнокислые и пропионовокислые бактерии, комбинации которых представлены в Таблице 11.

Полуфабрикат перемешивали и оставляли в термостате на 18–20 ч при температуре 33–35 °С до конечной титруемой кислотностью 10–12 град и влажности 69–72 %. Биотрансформированный гидролизат полуобезжиренной соевой муки — бактериальную соевую закваску использовали при замесе теста из пшеничной муки высшего сорта.

Таблица 11

Микробиологический состав и технологические свойства бактериальных заквасок на основе соевого ферментативного гидролизата

Наименование показателей	Бактериальная закваска № 1	Бактериальная закваска № 2	Бактериальная закваска № 3
Микробиологический состав и соотношение культур	<i>Lactobacillus casei</i> : <i>L.plantarum</i> : <i>L.acidophilus</i> 1:1:1	<i>Lactobacillus casei</i> : <i>L.plantarum</i> : <i>L.acidophilus</i> : <i>L.fermenti</i> : <i>L.brevis</i> 1:1:1:1:1	<i>Lactobacillus casei</i> : <i>L.plantarum</i> : <i>L.acidophilus</i> : <i>L.fermenti</i> : <i>L.brevis</i> : <i>Propionibacterium freudenreichii</i> <i>subsp. Shermanii</i> 1:1:1:1:1:0,1
Влажность полуфабриката, %	69–72	69–72	69–72
Титруемая кислотность полуфабриката, град	10–12	10–11	11–12

Таблица 12

Рецептура приготовления контрольного и обогащённых образцов пшеничного хлеба

Наименование сырья	Расход сырья по вариантам, г			
	1	2	3	4
Мука пшеничная высшего сорта	400	375	370	360
Бактериальная соевая закваска	—	80	100	120
Дрожжи прессованные хлебопекарные	12	12	12	12
Соль пищевая	6	6	6	6
Сахар белый	16	16	16	16
Маргарин	12	12	12	12

Замес теста осуществлялся в 2 этапа в тестомесильной машине Keenwood. Изначально в течение 5 минут замешивалась мука и жировой продукт, после чего вносились остальное сырьё, предусмотренное рецептурой. Продолжительность замеса составляла 5 минут, брожение тестового полуфабриката осуществляли в шкафу для брожения в течение 60 мин при температуре 30 °С.

По окончании процесса брожения тесто взвешивали, делили на куски массой 400 г, формовали и отправляли на расстойку при температуре 35–40 °С и относительной влажности 75–80 % на 30 минут. По окончании расстойки тестовые заготовки переносили в печь, предварительно нагретую до 200–210 °С. Продолжительность выпечки составляла 25 минут для подовых и 30 минут для формовых изделий.

После выемки из печи изделия охлаждались до температуры 18±2 °С в течение 1,5–2 ч.

А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская

Часть охлажденных изделий упаковывали в полипропиленовые пакеты на упаковочном аппарате «Термопак» и хранили при температуре 20–22 °С в течение 7 суток. Показатели микробиологической устойчивости контрольных и опытных образцов представлены в таблице 10. Остальные изделия анализировали по органолептическим и физико-химическим показателям (Рисунок 1, Таблица 13).

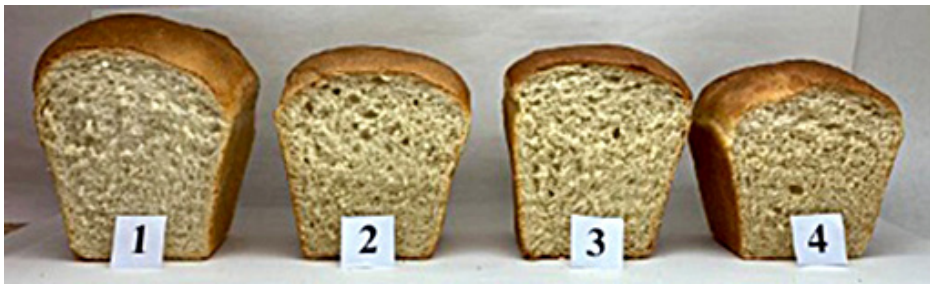
Таблица 13

Микробиологическая устойчивость контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий с бактериальной соевой закваской

Продолжительность хранения, час	Характеристика хлебобулочного изделия, приготовленного по варианту			
	Контроль	1	2	3
24		Микробиологическая порча не обнаружена		
48		Микробиологическая порча не обнаружена		
72		Микробиологическая порча не обнаружена		
96	На поверхности обнаружены колонии плесени черного и зеленого цвета	Микробиологическая порча не обнаружена		
120	Сплошной газон плесени черного и зеленого цвета	Микробиологическая порча не обнаружена		
144	Сплошной газон плесени черного и зеленого цвета	На поверхности обнаружены колонии плесени белого, зеленого и черного цвета	На поверхности обнаружены колонии белого и зеленого цвета	На поверхности обнаружены колонии белого и зеленого цвета

Рисунок 1

Внешний вид образцов хлебобулочных изделий с бактериальной соевой закваской



Примечание. 1 — контроль; 2 — 20 % закваски; 3 — 25 % закваски; 4 — 30 % закваски

Таблица 14

Органолептические показатели готовых изделий

Наименование показателя	Характеристика образцов		
	2	3	4
Внешний вид	Имеет форму, соответствующую хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов Поверхность ровная, выпуклая, без крупных трещин и подрывов Окраска светло-золотистая, равномерная	Имеет форму, соответствующую хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов Поверхность ровная, выпуклая, без крупных трещин и подрывов Окраска темно-золотистая, равномерная	Имеет форму, соответствующую хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов Поверхность ровная, без крупных трещин и подрывов Окраска светло-коричневая, равномерная

Окончание таблицы 14

Наименование показателя	Характеристика образцов		
	2	3	4
Состояние мякиша	Пористость развитая, тонкостенная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Пористость развитая, тонкостенная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный
Вкус	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса
Запах	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха

Результаты исследования физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий представлены в Таблице 15.

По оценке органолептических и физико-химических показателей выделен образец, приготовленный по варианту 4, в рецептуру которого соевую муку вносили в форме бактериальной соевой закваски на основе смеси мезофильных гомо- и гетероферментативных мо-

лочнокислых и пропионовых бактерий. Данный способ введения полуобезжиренной соевой муки в рецептуру теста из пшеничной муки использовали в качестве базисного при определении допустимой дозировки протеина из семян подсолнечника.

В полуфабрикате определяли кинетику кислотонакопления в процессе брожения теста с целью выявления продолжительности созревания полуфабриката. Отбор

Таблица 15

Физико-химические показатели качества исследуемых образцов

Наименование показателя	Значение показателей хлебобулочных изделий, приготовленных по вариантам			
	1	2	3	4
Масса, г	332,9 ± 0,5	363,7 ± 0,5	364,0 ± 0,5	366,0 ± 0,5
Объём, см³	1330 ± 20	960 ± 20	890 ± 20	800 ± 20
Удельный объём, см³/г	4,00 ± 0,15	2,64 ± 0,15	2,45 ± 0,15	2,19 ± 0,15
H/D	0,34 ± 0,1	0,40 ± 0,1	0,39 ± 0,1	0,39 ± 0,1
Пористость мякиша, %	78 ± 2	75 ± 2	74 ± 2	72 ± 2
Титруемая кислотность хлеба, град	1,6 ± 0,2	3,1 ± 0,2	3,2 ± 0,2	3,4 ± 0,2
Влажность мякиша, %	41,2 ± 0,5	42,1 ± 0,5	42,4 ± 0,5	42,6 ± 0,5

Таблица 16

Рецептура приготовления контрольного и обогащённых образцов хлебобулочных изделий

Наименование сырья	Количество сырья по вариантам, г							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Мука пшеничная высшего сорта	400	370	370	370	370	370	370	370
Бактериальная соевая закваска	—	100	100	100	100	100	100	100
Протеин подсолнечника	—	—	30	33	36	39	42	45
Дрожжи прессованные хлебопекарные	12	12	12	12	12	12	12	12
Соль пищевая	6	6	6	6	6	6	6	6
Сахар белый	16	16	16	16	16	16	16	16
Маргарин	12	12	12	12	12	12	12	12

А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская

Рисунок 2

Кинетика кислотонакопления в тесте с биотрансформированной соевой мукой и 10 % протеина подсолнечника в процессе брожения



проб полуфабриката проводили через каждые 10 минут. Полученные данные представлены на Рисунке 2.

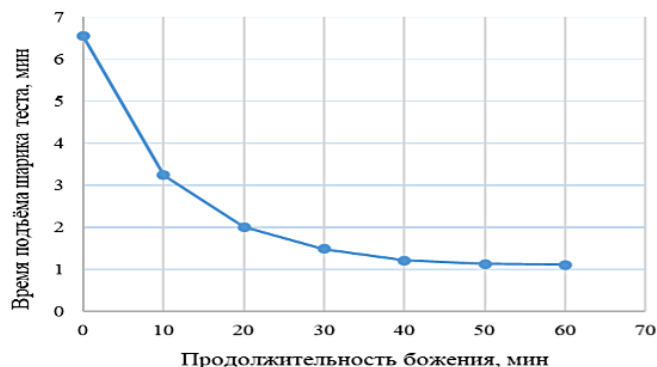
Параллельно проводилось определение подъёмной силы теста, которая является характеристикой его ферментативной активности. Полученные данные представлены на Рисунке 3.

Анализ показателей титруемой кислотности и бродительной активности полуфабриката выявил продолжительность оптимального брожения теста в течении 50 мин.

По окончании процесса брожения тесто взвешивали, делили на куски массой 400 г, формовали и отправляли

Рисунок 3

Кинетика бродительной активности полуфабриката с биотрансформированной соевой мукой и 10 % протеина подсолнечника в процессе брожения

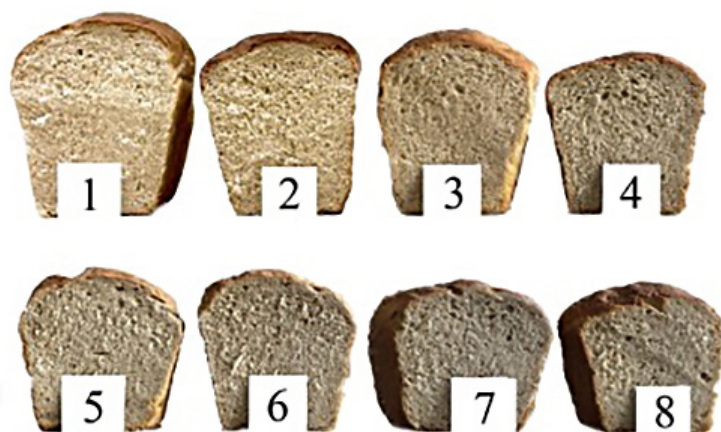


на расстойку при температуре 35–40 °С и относительной влажности 75–80 % до готовности. По окончании расстойки тестовые заготовки перемещали в печь, предварительно нагретую до 200–210 °С. Продолжительность выпечки составляла 25 минут для подовых и 30 минут для формовых изделий. После выемки из печи изделия опрыскивали водой и охлаждали до температуры 18±2 °С в течение 1,5–2 ч.

Внешний вид полученных образцов пшеничного хлеба представлен на Рисунке 4.

Рисунок 4

Внешний вид образцов хлебобулочных изделий на соевой закваске с добавлением протеина подсолнечника



Примечание. 1 — контроль без применения закваски и протеина подсолнечника; 2 — на закваске без протеина подсолнечника; 3 — на закваске и протеином подсолнечника в количестве 10 %; 4 — в количестве 11 %; 5 — в количестве 12 %; 6 — в количестве 13 %; 7 — в количестве 14 %; 8 — в количестве 15 %.

Органолептические показатели качества готовых изделий представлены в Таблице 17.

Результаты исследования физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий представлены в Таблице 18.

С учетом оценки органолептических и физико-химических показателей различных образцов хлебобулочных

изделий с бактериальной соевой закваской и протеином подсолнечника для определения показателя устойчивости к микробиологической порче был отобран образец 3 с 25 % соевой закваски и 10 % протеина подсолнечника. Упакованные в полипропиленовую пленку образцы хранились при температуре 20–22 °С в течение срока появления видимых колоний плесени на поверхности изделий.

Таблица 17

Органолептические показатели готовых изделий

Образец №	Наименование показателя			
	Внешний вид	Состояние мякиша	Вкус	Запах
	Характеристика образцов			
2	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия ровная, выпуклая, без крупных трещин и подрывов. Окраска тёмно-золотистая, равномерная.	Пористость развитая, тонкостенная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
3	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия ровная, без крупных трещин и подрывов. Окраска светло-золотистая, равномерная.	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
4	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия ровная, без крупных трещин и подрывов. Окраска светло-коричневая, равномерная	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
5	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия частично ровная, с небольшим подрывом. Окраска светло-коричневая, равномерная	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
6	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия частично ровная, без крупных трещин и подрывов. Окраска светло-коричневая, равномерная	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
7	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия частично ровная, без крупных трещин и подрывов. Окраска светло-коричневая с сероватым оттенком, равномерная	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
8	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия частично ровная, с небольшими трещинами и подрывом. Окраска светло-коричневая с сероватым оттенком, равномерная	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха

Таблица 18

Физико-химические показатели качества исследуемых образцов

Наименование показателя	Значение показателя хлебобулочного изделия, приготовленного по варианту							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Масса, г	332,9 ± 0,5	344,7 ± 0,5	345,4 ± 0,5	348,0 ± 0,5	349,7 ± 0,5	351,0 ± 0,5	352,8 ± 0,5	354,3 ± 0,5
Объем, см ³	1300 ± 20	1120 ± 20	1080 ± 20	940 ± 20	800 ± 20	720 ± 20	700 ± 20	660 ± 20
Удельный объем, см ³ /г	3,82 ± 0,15	3,25 ± 0,15	3,13 ± 0,15	2,70 ± 0,15	2,29 ± 0,15	2,05 ± 0,15	1,98 ± 0,15	1,86 ± 0,15
H/D	0,50 ± 0,1	0,49 ± 0,1	0,50 ± 0,1	0,49 ± 0,1	0,46 ± 0,1	0,43 ± 0,1	0,42 ± 0,1	0,40 ± 0,1
Пористость мякиша, %	79 ± 2	76 ± 2	75 ± 2	74 ± 2	71 ± 2	70 ± 2	69 ± 2	68 ± 2
Титруемая кислотность мякиша, град	1,6 ± 0,2	3,2 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2
Влажность мякиша, %	36,2 ± 0,5	40,0 ± 0,5	40,0 ± 0,5	40,1 ± 0,5	40,0 ± 0,5	40,3 ± 0,5	40,4 ± 0,5	40,3 ± 0,5

Для разработанных вариантов проведен расчет пищевой, биологической, минеральной и витаминной ценности готовых изделий (Таблица 19).

Расчет химического состава хлебобулочных изделий с белоксодержащими функциональными добавками показал, что использование биотрансформированной соевой муки и протеина подсолнечника позволяет на 6,3 г/100 г изделий повысить содержание растительного белка, аминокислотный скор которого по лизину составляет 93 %; на 7,0 % снизить содержание крахмалсодержащих углеводов, улучшить витаминный и минеральный состав готовых изделий. Содержание витамина тиамина повышается на 0,07 мг %, что составляет 9 % от суточной потребности при употреблении 150 г хлебобулочных изделий, калия составляет 237 мг %, кальция — 33 мг %, магния — 33 мг %, фосфора — 118 мг %. В разработанных хлебобулочных изделиях с использованием протеина подсолнечника обнаружено наличие хлорогеновой кислоты.

Разработанные хлебобулочные изделия с функциональными добавками из соевой муки и протеина подсолнечника открывают новые перспективы в производстве продуктов здорового питания. Повышение содержания растительного белка в изделиях отвечает актуальным требованиям потребителей, которые все больше ориентируются на продукцию с улучшенными пищевыми характеристиками. При этом аминокислотный скор, особенно по таким важным аминокислотам, как лизин, играет ключевую роль для обеспечения физиологических потребностей человека. Снижение содержания углеводов, в особенности крахмала, в контексте растущего интереса к низкоуглеводным диетам может сделать продукт привлекательным для определенной аудитории потребителей. Обнаруженное в хлебе на-

Таблица 19

Показатели пищевой ценности обогащенных хлебобулочных изделий

Наименование показателей	Значение показателей для изделий хлебобулочных		
	контрольного	с использованием 25 % бактериальной соевой закваски	с использованием 25 % бактериальной соевой закваски и 10 % протеина подсолнечника
Пищевая ценность			
Белки, г	7,3	9,3	13,6
Жиры, г	2,5	2,9	2,9
Углеводы, г	51,3	47,8	44,3
Энергетическая ценность, ккал	255	255	260
Биологическая ценность			
Содержание аминокислот, мг %:			
Валин	398	473	669
Изолейцин	358	431	613
Лизин	234	351	698
Метионин	123	155	241
Треонин	255	328	472
Триптофан	99	131	203
Фенилаланин	431	500	729
Лейцин	633	779	1036
Содержание витаминов:			
Витамин В ₁ , мг %	0,13	0,19	0,21
Витамин В ₂ , мг %	0,04	0,05	0,05
Витамин В ₆ , мг %	—	—	0,03
Витамин РР, мкг %	1,02	1,06	0,98
Витамин Е, мг ТЭ	—	—	0,7
Содержание макро- и микроэлементов, мг %:			
Калий	94	186	237
Кальций	17	29	33
Магний	12	24	33
Фосфор	67	98	118
Цинк, мкг %	—	1	2
Железо, мкг %	1	3	3
Наличие хлорогеновой кислоты	отсутствует	отсутствует	обнаружена

А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская

личие хлорогеновой кислоты — антиоксиданта растительного происхождения — может быть рассмотрено как дополнительное преимущество. Этот компонент обладает рядом положительных свойств, включая антиоксидантную, противовоспалительную и антидиабетическую активности. Тем не менее, при всех очевидных преимуществах использования указанных добавок, необходимо учитывать потенциальные ограничения. Например, изменения в органолептических свойствах изделий могут не встретить однозначного одобрения у потребителей. Кроме того, необходимо рассмотреть экономическую сторону вопроса: стоимость производства таких изделий может быть выше из-за дополнительных этапов производства и более дорогих ингредиентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование подтвердило возможность и целесообразность использования полуобезжиренной соевой муки и протеина подсолнечника в качестве функциональных добавок для обогащения хлебобулочных изделий. Применение данных компонентов позволяет не только повысить пищевую и энергетическую ценность продукта, но и обогатить его незаменимыми

аминокислотами, витаминами и микроэлементами. Разработанные изделия соответствуют современным требованиям здорового питания, предоставляя потребителю продукт с улучшенными органолептическими и пищевыми качествами, при этом сохраняя привычную энергетическую ценность. Представленная разработка является перспективной для промышленного внедрения и может стать ответом на растущий спрос на продукцию здорового питания.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Белявская Ирина Георгиевна: формулирование идеи; разработка методологии исследования, формальный анализ, работа с программным обеспечением, проведение исследования.

Богатырева Татьяна Глебовна: формулирование исследовательских целей и задач, создание модели исследования, курирование данных, проведение исследования, верификация данных.

Кошелева Анна Игоревна: проведение исследования, визуализация данных, создание черновика рукописи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алехина, А. А., Пономарева, Е. И., Жаркова, И. М., & Желтикова, А. С. (2020). Исследование функциональных свойств зернового хлеба на основе хлебопекарных смесей с белковым обогатителем. *Пищевая промышленность*, 5, 8–10. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10046>
- Alekhina, A. A., Ponomareva, E. I., Zharkova, I. M., & Zheltikova, A. S. (2020). Study of the functional properties of grain bread based on baking mixes with a protein enricher. *Food Industry*, 5, 8–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10046>
- Ауэрман, Т. Л., Генералова, Т. Г., & Сусянок Г. М. (2011). *Основы биохимии*. ИНФРА-М.
- Auerman, T. L., Generalova, T. G., & Suslyanok, G. M. (2011). *Fundamentals of Biochemistry*. INFRA-M. (In Russ.)
- Белявская, И. Г., Богатырева, Т. Г., & Матвеева И. В. (2022). *Биотехнологические основы приготовления хлеба*. ЗАО «Универ».
- Belyavskaya, I. G., Bogatyreva, T. G., & Matveeva, I. V. (2022). *Biotechnological foundations of bread making*. JSC «Univers». (In Russ.)
- Богатырева, Т. Г., Белявская, И. Г., Толмачева, И. П., & Быковченко, Т. В. (2013). Биоконверсия ячменной муки в технологии хлебобулочных изделий. *Хлебопродукты*, 9, 48–51.
- Bogatyreva, T. G., Belyavskaya, I. G., Tolmachova, I. P., & Bykovchenko, T. V. (2013). Bioconversion of barley flour in the technology of bakery products. *Bread Products*, 9, 48–51. (In Russ.)
- Богатырева, Т. Г., Белявская И. Г., & Муратова А. А. (2021). Обогащение хлебобулочных изделий с использованием нетрадиционного растительного сырья. *Хлебопродукты*, 6, 48–49. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-6-48-49>
- Bogatyreva, T. G., Belyavskaya, I. G., & Muratova, A. A. (2021). Enrichment of bakery products using non-traditional plant raw materials. *Bread Products*, 6, 48–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-6-48-49>

- Богатырёва, Т. Г., Белявская, И. Г., Толмачева, И. П., & Быковченко, Т. В. (2014). Ячменная мука-стимулятор газообразующей способности полуфабрикатов. *Хлебопродукты*, 5, 44–45.
- Bogatyreva, T. G., Belyavskaya, I. G., Tolmachova, I. P., & Bykovchenko, T. V. (2014). Barley flour as a stimulator of gas-forming ability in semi-finished products. *Bread Products*, 5, 44–45. (In Russ.)
- Богатырева Т. Г., Лабутина Н. В., Белявская И. Г., Быковченко Т. В., & Толмачева И. П. (2015). *Способ приготовления ячменно-молочной закваски* (Российская Федерация Патент № 2013142453/10). Роспатент.
- Bogatyreva, T. G., Labutina, N. V., Belyavskaya, I. G., Bykovchenko, T. V., & Tolmachova, I. P. (2015). *Method of preparing barley-milk sourdough* (Russian Federation Patent No. 2013142453/10). Rospatent. (In Russ.)
- Бычкова, Е. А., & Борисова, А. В. (2021). Белковые концентраты сои: технологии производства и перспективы применения. *Ползуновский вестник*, 2, 88–94. <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2021.02.012>
- Bychkova, E. A., & Borisova, A. V. (2021). Soy protein concentrates: Production technologies and application prospects. *Polzunovsky Vestnik*, 2, 88–94. (In Russ.) <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2021.02.012>
- Гершончик, К. Н., & Гарлинская, М. И. (2022). Исследование влияния продуктов переработки масличного сырья на структурно-механические свойства теста. *Пищевая промышленность: наука и технология*, 3(57), 23–31. [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-3\(57\)-23-31](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-3(57)-23-31)
- Gershonchik, K. N., & Garlinskaya, M. I. (2022). Study of the influence of oilseed processing products on the structural and mechanical properties of dough. *Food Industry: Science and Technology*, 3(57), 23–31. (In Russ.) [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-3\(57\)-23-31](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-3(57)-23-31)
- Драчева, Л. В. (2001). Полезные продукты из сои. *Пищевая промышленность*, 4, 16–17.
- Dracheva, L. V. (2001). Useful products from soy. *Food Industry*, 4, 16–17. (In Russ.)
- Ефремова, Е. Н., Зенина Е. А., & Шершневу, А. А. (2020). Влияние соевой муки на качество пшеничного хлеба. *Вестник КрасГАУ*, 3(156), 171–177. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-3-171-177>
- Efremova, E. N., Zenina, E. A., & Shershnev, A. A. (2020). The effect of soy flour on the quality of wheat bread. *Bulletin of KrasGAU*, 3(156), 171–177. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-3-171-177>
- Зеленцов, С. В., & Кочегура А. В. (2006). Современное состояние систематики культурной сои Glycinemax (L.) Merrill. Масличные культуры. *Научно-технический бюллетень*, 1, 34–38.
- Zelentsov, S. V., & Kochegura, A. V. (2006). The current state of the taxonomy of cultivated soybean Glycine max (L.) Merrill. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin*, 1, 34–38. (In Russ.)
- Кан, Дж., Барсук, Т. М., & Ронис, М. Д. (2010). Изофлавоновые фитохимические вещества в сое и их влияние на здоровье. *Пищевая химия*, 8, 8119–8133. <https://doi.org/10.3109/09637486.2010.513680>
- Kan, J., Barsuk, T. M., & Ronis, M. D. (2010). Isoflavone phytochemicals in soy and their impact on health. *Food Chemistry*, 8, 8119–8133. (In Russ.) <https://doi.org/10.3109/09637486.2010.513680>
- Которовский, А. В. (2005). *Соевое питание в России и СССР в XIX–XX веках*. Региональный общественный фонд содействия внедрению социальных инноваций.
- Kotorovsky, A. V. (2005). *Soy nutrition in Russia and the USSR in the 19th–20th centuries*. Regional Public Fund for the Promotion of Social Innovations. (In Russ.)
- Куницына, Т. О., Березина, Н. А., & Хмелева, Е. В. (2022). Пшенично-ржаные хлебобулочные изделия с добавлением соевой окары. *Хлебопродукты*, 3, 49–55. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2022-31-3-49-55>
- Kunitsyna, T. O., Berezina, N. A., & Khmeleva, E. V. (2022). Wheat-rye bakery products with the addition of soybean okara. *Bread Products*, 3, 49–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2022-31-3-49-55>
- Милорадова Е. В., Траубенберг, С. Е., & Вяльцева, И. В. (2013). Пищевые продукты с использованием соевой муки. *Пищевая промышленность*, 11, 48–50.
- Miloradova, E. V., Traubenbergs, S. E., & Vyaltseva, I. V. (2013). Food products using soy flour. (In Russ.) *Food Industry*, 11, 48–50.
- Мхитарьянц, Л. А., Таранец, О. В., Мхитарьянц, Г. А. (2020). Влияние добавки соевой муки на потребительские свойства пшеничного хлеба. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 1(373), 21–24. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.1.5>
- Mkhitaryants, L. A., Taranets, O. V., Mkhitaryants, G. A. (2020). The effect of adding soy flour on the consumer properties of wheat bread. *Proceedings of Higher Education Institutions. Food Technology*, 1(373), 21–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.1.5>
- Петибская, В. С. (2012). *Соя: химический состав и использование*. Полиграф-ЮГ.
- Petibskaya, V. S. (2012). *Soy: Chemical composition and use*. Polygraph-YUG. (In Russ.)

- Риццо, Г. (2015). Антиоксидантная роль сои и соевых продуктов в здоровье человека. *Антиоксиданты*, 9(7), 625–635. <https://doi.org/10.3390/antiox9070635>
- Rizzo, G. (2015). The antioxidant role of soy and soy products in human health. *Antioxidants*, 9(7), 625–635. (In Russ.) <https://doi.org/10.3390/antiox9070635>
- Смагина, А. В., & Сытова, М. В. (2011). Анализ использования соевого белка в пищевой промышленности. *Научные труды Дальрыбвтуза*, 23, 174–179.
- Smagina, A. V., & Sytova, M. V. (2011). Analysis of the use of soy protein in the food industry. *Scientific Works of Dalrybvtuz*, 23, 174–179. (In Russ.)
- Типсина, Н. Н., Батура, Н. Г., Демидов, Е. Л., & Белошапкин, М. С. (2021). Использование сои в производстве продуктов питания и перспективы развития применения соевых полуфабрикатов в производстве хлебобулочных изделий, 1, 163–168. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-1-163-168>
- Tipsina, N. N., Batura, N. G., Demidov, E. L., & Beloshapkin, M. S. (2021). The use of soy in food production and the prospects for the development of using soy semi-finished products in the production of bakery products, 1, 163–168. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-1-163-168>
- Тутельян, В. А., & Никитюк, Д. Б. (2023). *Нутрициология и клиническая диетология: национальное руководство*. ГЭОТАР-Медиа.
- Tutelyan, V. A., & Nikityuk, D. B. (2023). *Nutrition and Clinical Dietetics: A National Guide*. GEOTAR-Media. (In Russ.)
- Lu, X. K., Brennan, M. A., Guan, W. Q., Zhang, J., Yuan, L., & Brennan, C. S. (2021). Enhancing the nutritional properties of bread by incorporating mushroom bioactive compounds: The manipulation of the pre-dictive glycaemic response and the phenolic properties. *Foods*, (4), 10–11. <https://doi.org/10.3390/foods10040731>
- Masure, H. G., Wouters, A. G. B., Fierens, E., & Delcour, J. A. (2019). Impact of egg white and soy proteins on structure formation and crumb firming in gluten-free breads. *Food Hydrocolloids*, (95), 406–417. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.062>
- Otegbayo, B. O., Adebisi, O. M., Bolaji, O. A., & Olunlade, B. A. (2018). Effect of soy enrichment on bread quality. *International Food Research Journal*, 25(3), 1120–1125.
- Sa, A. G. A., Silva, D. C. S., Pacheco, M. T. B., Moreno, Y. F. M., & Carciofi, B. A. M. (2021). Oilseed by-products as plant-based protein sources: Amino acid profile and digestibility. *Future Foods*, (3). <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100023>
- Shchekoldina, T., & Aider, M. (2014). Production of low chlorogenic and caffeic acid containing sunflower meal protein isolate and its use in functional wheat bread making. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2331–2343. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0780-2>
- Teleky, B. E., Martau, A. G., Ranga, F., Chetan, F., & Vodnar, D. C. (2020). Exploitation of lactic acid bacteria and baker's yeast as single or multiple starter cultures of wheat flour dough enriched with soy flour. *Biomolecules*, 10(5), 778–779. <https://doi.org/10.3390/biom10050778>
- Yang, L., Philipus, P., & Vermont, P. D. (2021). Physicochemical, functional and bioactive properties of hempseed (*Cannabis sativa* L.) meal, a co-product of hempseed oil and protein production, as affected by drying process. *Food Chemistry*, 35, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129188>
- Zhou, J. M., Liu, J. F., & Tang, X. Z. (2018). Effects of whey and soy protein addition on bread rheological property of wheat flour. *Journal of Texture Studies*, 49(1), 38–46. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12275>
- Ziebell, A. L. (2013). Sunflower as a biofuels crop: An analysis of lignocellulosic chemical properties. *Biomass and Bioenergy*, (59), 208–217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.06.009>

Разработка технологии функционального хлеба улучшенного качества на основе хлебопекарной смеси с применением муки из цельносмолотого биоактивированного зерна пшеницы и ржи

Н. Н. Алёхина, Е. И. Пономарева, И. А. Бакаева

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: В связи с получением новых данных в области метаболических аспектов фармакологии и токсикологии пищи увеличение объемов выработки функциональных продуктов растет с каждым годом и является одним из важных приоритетных направлений развития пищевой промышленности. С целью обогащения хлебобулочных изделий в последнее время широко используется биоактивированное зерно, мука из цельносмолотой пшеницы и ржи, хлебопекарные смеси с использованием данных видов муки. Приготовление зернового хлеба на основе хлебопекарной смеси из измельченной дезинтеграционно-волновым способом биоактивированной пшеницы и ржи приводит к получению изделий с липким, сильно заминающимся мякишем.

Цель: Разработать хлебопекарную смесь с применением муки из цельносмолотого биоактивированного зерна пшеницы и ржи и технологию функционального хлеба улучшенного качества на ее основе.

Материалы и методы: Объектами исследований являлись десять образцов из хлебопекарных смесей с разным рецептурным составом компонентов. В тесте при брожении определяли бродильную активность на ризографе National, кислотность - методом титрования. Качество хлеба после 20 ч хранения и его химический состав оценивали в соответствии с общепринятыми методиками, указанными в действующих стандартах.

Результаты: Наилучшие свойства теста и качество хлеба наблюдались в образце, полученном на основе хлебопекарной смеси без применения сухой пшеничной клейковины, с увеличенной дозировкой аскорбиновой и лимонной кислоты, молочной сыворотки, в 100 г которой в равных частях содержались мука из цельносмолотого биоактивированного зерна ржи и пшеницы, мука ржаная обдирная, мука пшеничная первого сорта (по 23,63 %). В результате оценки химического состава разработанного изделия установлено, что оно относится к функциональным пищевым продуктам за счет значимого содержания магния, фосфора, железа, тиамина и рибофлавина.

Выводы: Обоснован выбор состава хлебопекарной смеси с применением муки из цельносмолотого биоактивированного зерна ржи и пшеницы для получения функционального хлеба с практически не заминающимся мякишем и разработана технология его приготовления, которая позволит интенсифицировать технологический цикл производства изделия за счет исключения стадии брожения теста.

Ключевые слова: биоактивированное зерно; пшеница; рожь; хлебопекарная смесь; свойства теста; качество хлеба; химический состав; функциональный продукт

Корреспонденция:

Пономарева Елена Ивановна,
ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
394036, Россия, г. Воронеж,
проспект Революции, д. 19
E-mail: elena6815@yandex.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 09.01.2023

Принята: 20.03.2023

Опубликована: 30.09.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Алехина, Н.Н., Пономарева, Е.И., & Бакаева, И.А. (2023). Разработка технологии хлеба функционального назначения на основе хлебопекарной смеси из биоактивированной пшеницы и ржи. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 41-53. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.16>

Development of Functional Bread Technology Based on a Baking Mixture of Bioactivated Wheat and Rye

Nadezhda N. Alyokhina, Elena I. Ponomareva, Irina A. Bakaeva

Federal State Budget Educational
Institution of Higher Education
«Voronezh State University of
Engineering Technologies»,
Voronezh, Russia

ABSTRACT

Introduction: In connection with the acquisition of new data in the field of metabolic aspects of food pharmacology and toxicology, the production volume of functional products is growing every year and is one of the important priority directions for the development of the food industry. To enrich bakery products, bioactivated grain, flour from whole wheat and rye, and bakery mixes using these types of flour have been widely used lately. The preparation of grain bread based on a bakery mix made from wheat and rye bioactivated by the disintegration-wave method leads to products with a sticky, highly kneadable crumb.

Purpose: To develop a bakery mix using flour from whole grain bioactivated wheat and rye and a technology for functional bread of improved quality based on it.

Materials and Methods: The objects of research were ten samples from baking mixes with different compounding components. In the fermentation test, the fermentation activity was determined on the National rhizograph, the acidity was determined by titration. The quality of bread after 20 hours of storage and its chemical composition were evaluated in accordance with generally accepted methods specified in current standards.

Results: The best dough properties and bread quality were observed in the sample made based on the bakery mix without the use of dry wheat gluten, with an increased dosage of ascorbic and citric acids, whey, in which 100 grams contained equal parts of flour from whole grain bioactivated rye and wheat, peeled rye flour, and first-grade wheat flour (each at 23.63%). As a result of evaluating the chemical composition of the developed product, it was found that it is classified as a functional food due to its significant content of magnesium, phosphorus, iron, thiamine, and riboflavin.

Conclusion: The choice of a bakery mix composition using flour from whole grain bioactivated rye and wheat has been justified to produce functional bread with a nearly non-kneadable crumb. A preparation technology has been developed, which will intensify the technological cycle of product production by eliminating the dough fermentation stage.

Keywords: bioactivated grain; wheat; rye; baking mixture; dough properties; bread quality; chemical composition; functional product

Correspondence:

Ponomareva Elena Ivanovna,
Federal State Budget Educational
Institution of Higher Education
«Voronezh State University of
Engineering Technologies».
394036, Россия, г. Воронеж,
проспект Революции, д. 19
E-mail: elena6815@yandex.ru

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 09.01.2023

Accepted: 20.03.2023

Published: 30.09.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Alekhina, N.N., Ponomareva, E.I., & Bakaeva, I.A. Development of Functional Bread Technology Based on a Baking Mixture of Bioactivated Wheat and Rye. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 41-53. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.16>

ВВЕДЕНИЕ

Регулярное включение в рацион человека функциональных пищевых продуктов позволяет восполнить организм человека недостающими нутриентами. Перспективными видами продукции для обогащения жизненно необходимыми биологически активными веществами являются хлебобулочные изделия, которые широко потребляются всеми слоями населения, имеют оптимальную стоимость и являются доступным источником энергии и нутриентов. Известно, что трудоспособный гражданин употребляет за год в среднем 126,5 кг хлебопродуктов (Солоница, 2019; Князева, 2021; Вейберов, 2021).

При разработке хлебобулочных изделий функционального назначения применяют физиологически функциональные ингредиенты, чаще всего растительного происхождения, которые содержат в своем составе пищевые волокна, антиоксиданты, витамины, минеральные вещества и т. д. (Пушмина, 2021; Жаркова, 2019; Ребезов, 2012; Погожева, 2012; Amoah, 2022; Whitney, 2020; Amoah, 2019).

Одним из путей повышения пищевой ценности и функциональной направленности хлебобулочных изделий является использование в технологии их приготовления готовых зерновых хлебопекарных смесей. Состав последних может корректироваться в зависимости от требуемых параметров для конечного продукта, что также упрощает ход технологического процесса. Существующие хлебопекарные смеси (ХПС) отличаются входящими в состав рецептурными компонентами (разные виды муки, вторичные продукты мукомольного производства, овощные порошки, семена масличных культур, пряности, лекарственные растения и т. д.) (Алехина, 2021; Алехина, 2020; Вершинина, 2018; Наумова, 2020; Невская, 2019; Day, 2022; Khalek, 2020; Kuznetsova, 2021).

Известна возможность использования в хлебопечении продуктов переработки голозерного овса (цельносмолотого зерна и сеяной муки) в смеси с высококачественной пшеничной мукой при различном количественном соотношении компонентов в смесях (Носкова, 2019; Субботина, 2019). Выявлено, что при использовании продуктов переработки голозерного овса объем и общая хлебопекарная оценка изделий с добавлением овсяной муки выше, чем при внесении цельносмолотого зерна овса. Увеличение доли овсяной муки до 20 % и внесение 10 % цельносмолотого зерна в смесь с пшеничной мукой приводило к небольшому ухудшению ка-

чественных показателей хлебобулочных изделий (Шаболкина, 2019).

Применение 3 % муки из пшеницы и из зерна сорго зернового в составе композитной хлебопекарной смеси с мукой пшеничной хлебопекарной оказывает положительное влияние на активацию дрожжей хлебопекарных и процессы брожения и созревания теста, при этом обеспечивается получение хлеба с высокими потребительскими свойствами (Серебrenикова, 2022).

При всем разнообразии проводимых исследований необходимо продолжать совершенствовать технологии хлеба на основе хлебопекарных смесей, в том числе с применением биоактивированного (набухшего, пророщенного) зерна злаковых культур. При этом процессы, происходящие при биоактивации, начинают протекать на стадии набухания зерен злаковых культур и далее продолжают при их проращивании (Баева, 2021; Наumenко, 2019; Finnie, 2019; Johnston, 2019; Naumenko, 2021; Peñaranda, 2021).

Для получения зерновой хлебопекарной смеси необходимо первоначально высушить и измельчить на дезинтеграторе биоактивированное зерно, что позволит повысить степень ее однородности при перемешивании ингредиентов. Однако по результатам ранее полученных данных было выявлено, что приготовление зернового хлеба на основе хлебопекарной смеси из измельченной дезинтеграционно-волновым способом биоактивированной пшеницы влажностью $(10,0 \pm 0,5) \%$ приводит к получению изделий с липким, сильно заминающимся мякишем (Алехина, 2020). Это обусловлено тем, что зерна крахмала после измельчения биоактивированной пшеницы на дезинтеграторе являются более доступными для действия амилолитических ферментов. При этом образуется большее количество декстринов, которые придают мякишу зернового хлеба липкость. Кроме того, крахмал в большей степени гидролизуеться и за счет неполного связывания влаги приводит к получению изделия с мякишем влажным на ощупь. Поэтому необходима разработка хлебопекарной смеси, которая позволила бы получить зерновой хлеб функционального назначения с улучшенными показателями качества.

Целью исследований явилась разработка хлебопекарной смеси с применением муки из цельносмолотого биоактивированного зерна пшеницы и ржи и технологии функционального хлеба улучшенного качества на ее основе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

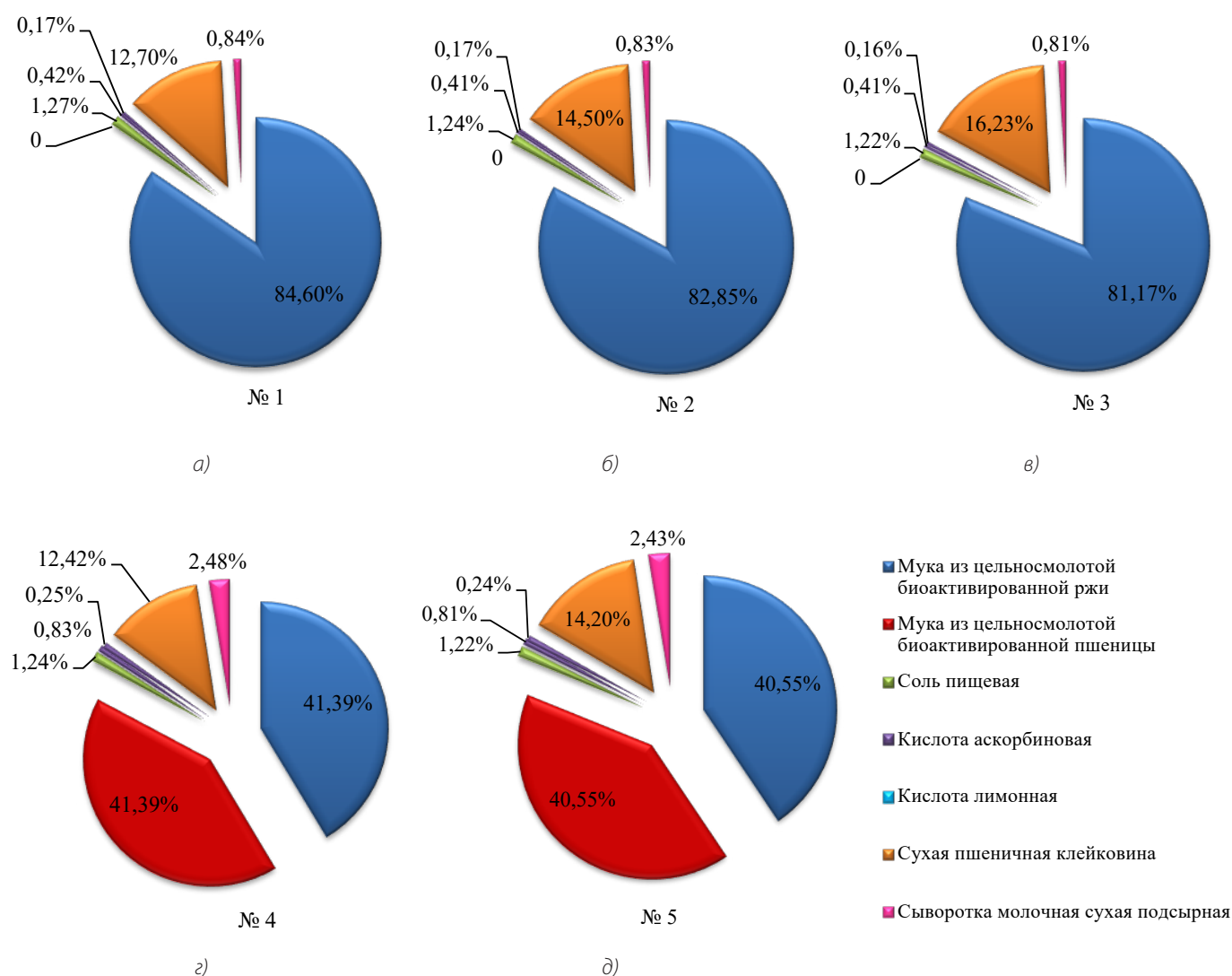
Объектами исследований являлись десять образцов хлебопекарных смесей: № 1–10, состав которых указан на Рисунках 1, 2).

Муку из цельносмолотого биоактивированного зерна получали в соответствии с ТИ 10.61.24–461-02068108–2018 из пшеницы 3-го класса (ГОСТ 9353–2016) и ржи 1-го класса (ГОСТ 16990–2017) с применением дезинтеграционно-волнового способа измельчения.

При приготовлении ХПС разного состава муку из цельносмолотого биоактивированного зерна пшеницы (кроме ХПС № 1, № 2, № 3), муку из цельносмолотого биоактивированного зерна ржи, муку пшеничную хлебопекарную первого сорта (ГОСТ 26574–2017, кроме ХПС № 1–6), муку ржаную хлебопекарную обдирную (ГОСТ 7045–2017, кроме ХПС № 5), сухую пшеничную клейковину (ГОСТ 31934–2012, кроме ХПС № 8), соль пищевую (ГОСТ Р 51574–2018), сыворотку молочную сухую подсырную (ГОСТ 33958–2016), кислоту аскорбиновую (ФС 42-2668-95), кислоту лимонную (ГОСТ 908–2004) дозировали в загрузочное устройство ленточного сме-

Рисунок 1

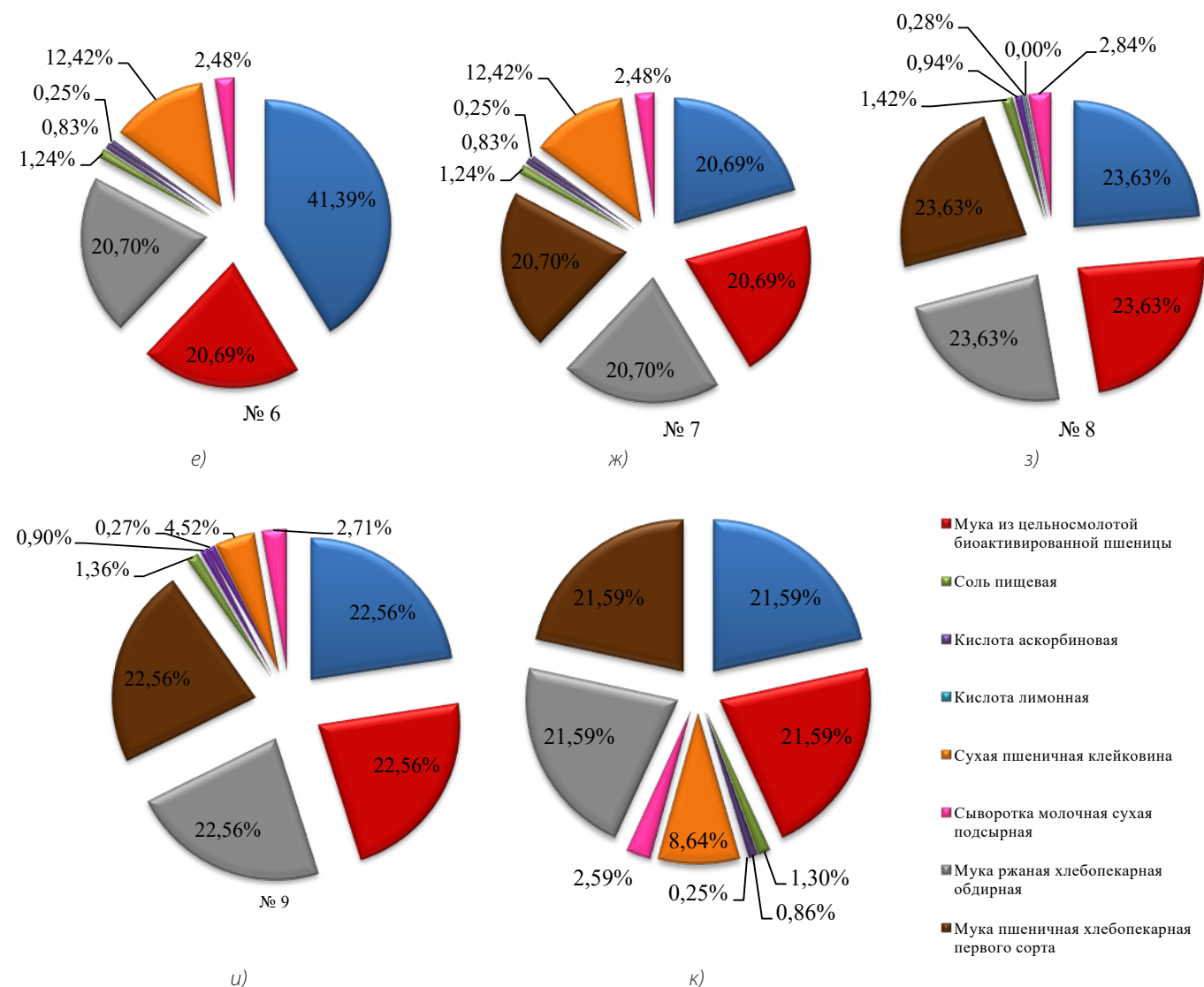
Содержание рецептурных компонентов в 100 г ХПС



а — № 1; б — № 2; в — № 3; г — № 4; д — № 5

Рисунок 2

Содержание рецептурных компонентов в 100 г ХПС



e — № 6; ж — № 7, з — № 8; и — № 9; к — № 10

сителя, в котором рецептурные компоненты перемешивали 10 мин.

Тесто (полуфабрикаты) готовили безопарным способом из хлебопекарных смесей № 1–10 с добавлением питьевой воды (СанПиН 2.1.4.1074–01) и дрожжей прессованных (ГОСТ Р 54731–2011).

Тесто замешивали на лабораторной тестомесильной машине до однородной консистенции, выбраживало оно при $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$, далее разделявали его на тестовые заготовки массой 0,35 кг, после чего их укладывали в формы, направляли на 40–50 мин на окончательную расстойку (температура $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$, относительная влаж-

ность воздуха $(82,5 \pm 2,5)\%$) и далее на выпечку в печь в течение 35–40 мин при $220\text{--}240^\circ\text{C}$.

Методы

Титруемую кислотность теста определяли при брожении в течение 120 мин до накопления требуемой кислотности ($9,0 \pm 0,5$ град), объем выделенного диоксида углерода (бродильную активность) — на ризографе National в течение 120 мин (Пономарева, 2022). Качество хлеба оценивали после 20 ч хранения по органолептическим показателям по ГОСТ 5667–65 и физико-химическим — по ГОСТ 5669–96, 5670–96.

Определяли химический состав зернового хлеба: белок — по ГОСТ ISO 5983–2–2016, жир — по ГОСТ 5668–68, водорастворимые углеводы — по ГОСТ Р 51636–2000, пищевые волокна — по ГОСТ Р 54014–2010, витамины — по ГОСТ 29138–91, 29139–91, минеральные вещества — по ГОСТ 32343–2013, 26657–97, 26570–95.

Экспериментальные исследования проводили в трехкратной повторности.

Анализ данных

Статистически обрабатывали данные в среде «Microsoft Excel 2010». Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез принимался равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование нацелено на оптимизацию состава хлебопекарной смеси с использованием муки, полученной из цельносмолотого биоактивированного зерна пшеницы и ржи для достижения наилучшего качества хлеба, с особым акцентом на состояние мякиша.

На первом этапе исследований выбирали состав хлебопекарной смеси на основе муки из цельносмолотого биоактивированного зерна пшеницы и ржи для получения изделия наилучшего качества, прежде всего, по состоянию мякиша. Результаты определения изменения при брожении свойств теста, приготовленного из ХПС разного состава, представлены на Рисунках 3, 4. Результаты определения органолептических, физико-химических показателей качества изделий и их внешний вид, структура пористости на основе ХПС разного состава представлены на Рисунках 5, 6 и 7. Наилучший результат по состоянию мякиша наблюдался в образце на основе ХПС № 8.

На втором этапе исследований оценивали химический состав хлеба на основе выбранной ХПС. На Рисунке 8 представлены результаты по определению содержания в нем нутриентов и расчету степени удовлетворения суточной потребности в них за счет употребления 100 г хлеба.

При исследовании кислотонакопления во всех образцах теста выявлено, что брожение до титруемой кислотности не менее 9,0 град осуществлялось у образцов на основе ХПС № 1–3 через 120 мин, на основе ХПС

№ 4–7, № 9, № 10 в течение 30 мин. Наименьшее значение указанного показателя в образцах на основе ХПС № 1, № 2 и № 3 объясняется меньшим содержанием аскорбиновой и лимонной кислоты, а также сухой молочной сыворотки, в образце из ХПС № 7 — заменой ½ части муки из цельносмолотой биоактивированной ржи мукой ржаной обдирной и ½ части муки из цельносмолотой биоактивированной пшеницы — мукой пшеничной хлебопекарной первого сорта. При этом начальная кислотность теста из ХПС № 8 сразу после замеса составляла 10,5 град, что не требовало осуществления процесса брожения и после деления тестовые заготовки направлялись на расстойку. Это обусловлено большим содержанием в полуфабрикате на основе ХПС № 8 муки из цельносмолотого биоактивированного зерна пшеницы и ржи по 23,63 %, кислоты аскорбиновой (0,94 %) и лимонной (0,28 %), сухой молочной сыворотки (2,84 %) (Рисунок 3).

При исследовании газообразования теста из ХПС № 7–10 выявлено, что образцы с сухой пшеничной клейковиной обладали худшей бродильной активностью, наименьшим значением данного показателя в течение 120 мин брожения характеризовался образец ХПС № 7, наибольшим — полуфабрикат на основе ХПС № 8 (Рисунок 4). Это обусловлено большим количеством в полуфабрикате на основе ХПС № 8 по сравнению с тестом из ХПС № 7, № 9, № 10 муки из цельносмолотого биоактивированного зерна злаковых культур и сухой молочной сыворотки, содержащих аминокислоты, макро- и микроэлементы, используемых дрожжевыми

Рисунок 3

Изменение титруемой кислотности при брожении теста на основе ХПС № 1–10

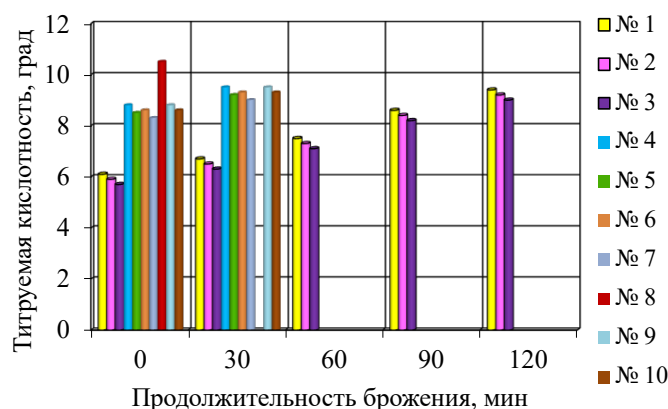
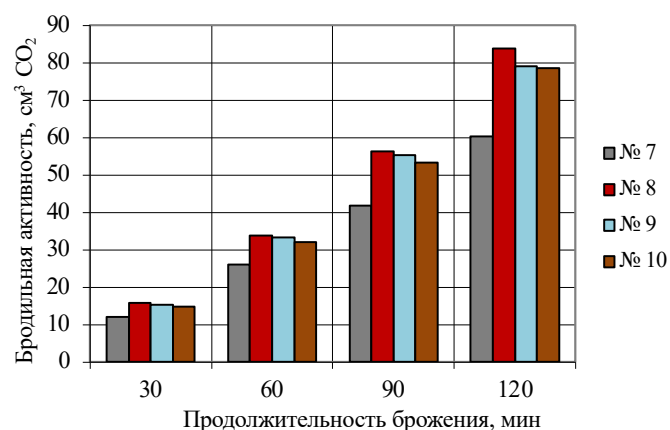


Рисунок 4

Изменение объема диоксида углерода при брожении теста на основе ХПС № 7–10



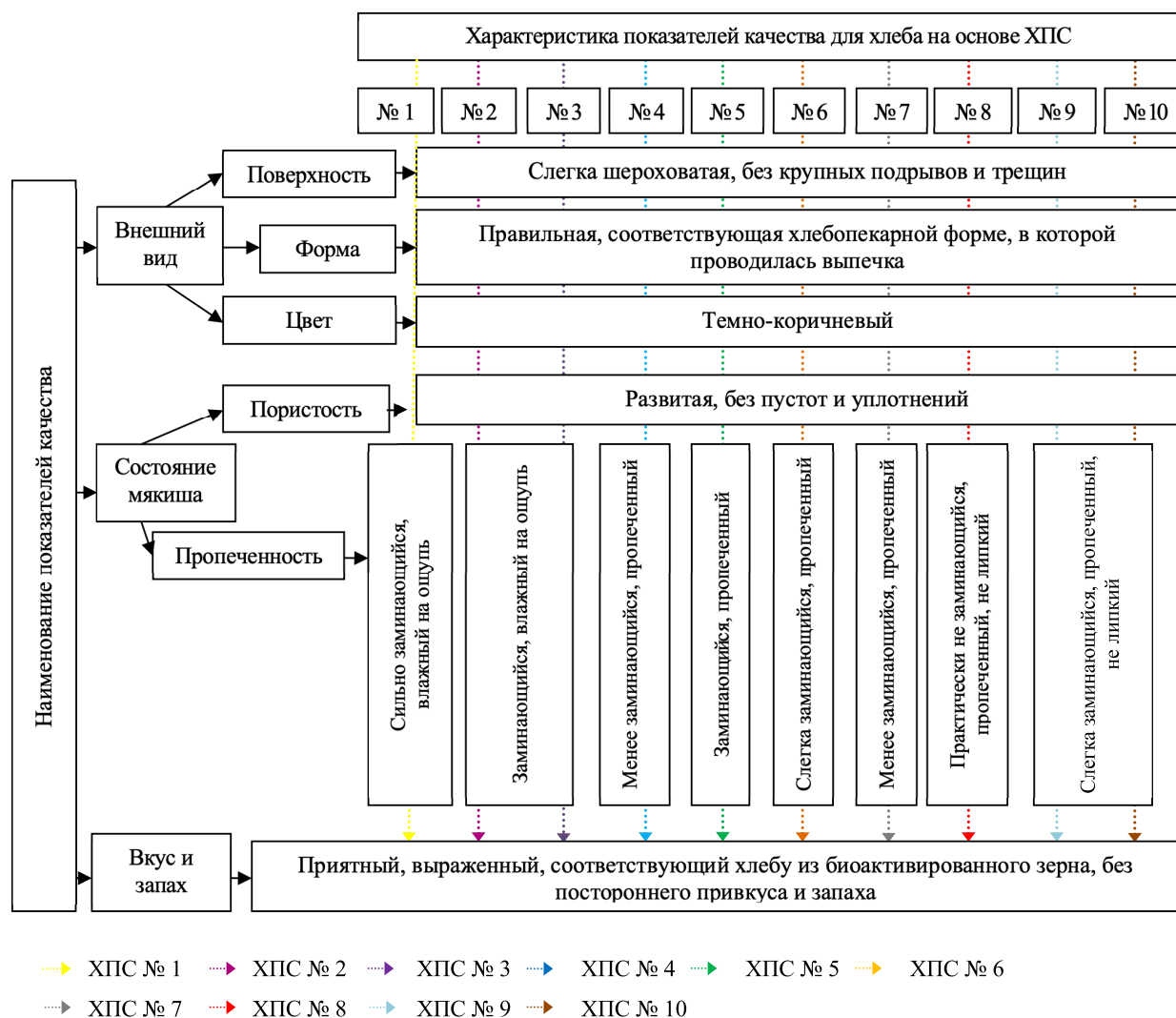
клетками, в результате чего выделяется больше диоксида углерода. Через 120 мин брожения объем диоксида углерода, выделившегося в образце на основе ХПС № 8 (83,94 см³ CO₂), был выше на 32,4%, 11,4% и 12,0% соответственно по сравнению с полуфабрикатами из ХПС № 7, № 9 и № 10.

При оценке влияния состава ХПС на органолептические и физико-химические показатели хлеба выявлено, что влажность мякиша во всех изделиях составляла (47,0 ± 0,5)%, при этом он отличался разной степенью пропеченности (Рисунок 5).

Полученные данные показали, что наилучшие показатели качества зернового хлеба наблюдались на основе ХПС, в состав которой вносили муку пшеничную хлебопекарную первого сорта взамен части муки из цель-

Рисунок 5

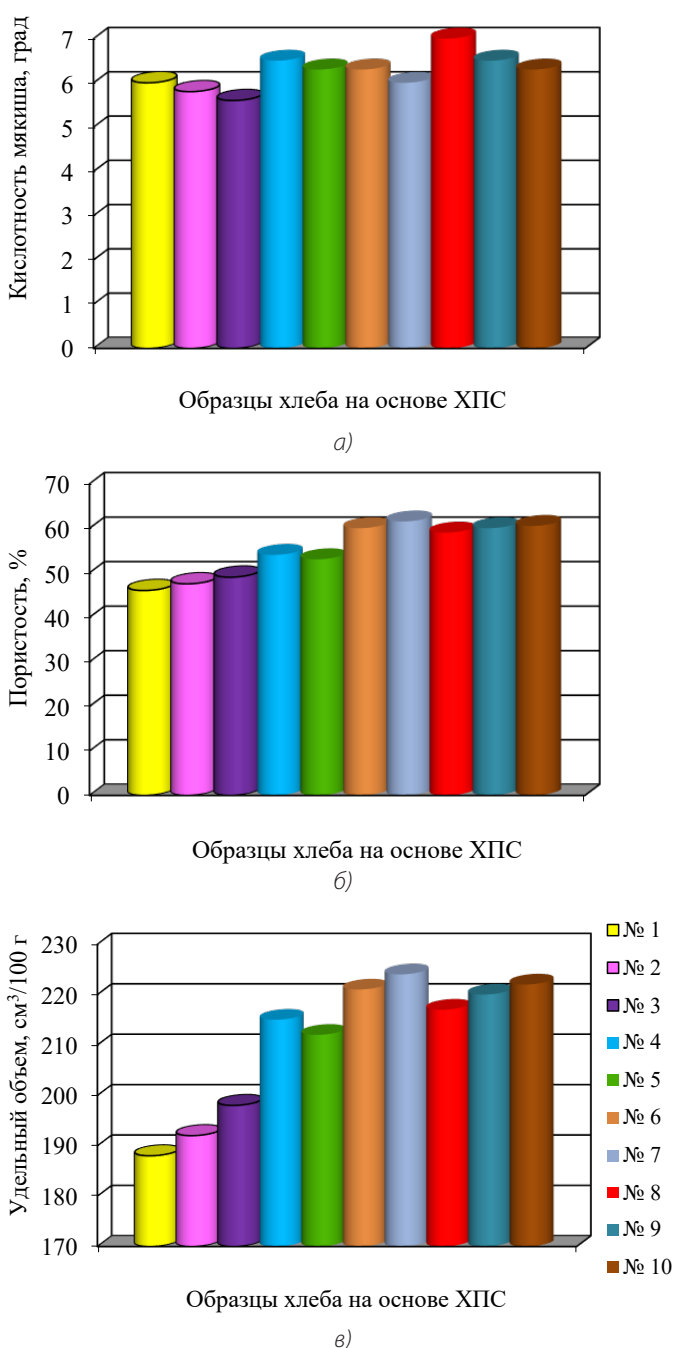
Органолептические показатели качества хлеба на основе ХПС № 1–10



носмолотого биоактивированного зерна пшеницы, муку ржаную обдирную взамен части муки из цельносмолотого биоактивированного зерна ржи. Установлено, что увеличение содержания подкислителей в составе ХПС позволило получить зерновой хлеб с менее влажным на ощупь мякишем.

Рисунок 6

Кислотность мякиша (а), пористость (б) и удельный объем (в) зернового хлеба на основе ХПС № 1–10

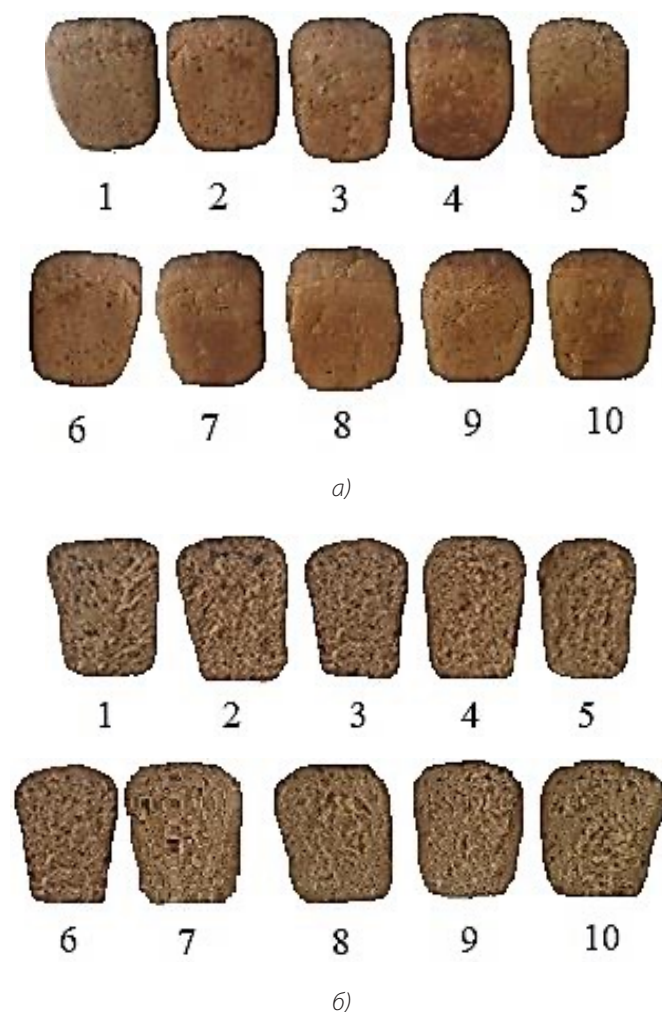


Лучшими показателями по значению пористости (61,5 %) и удельному объему (224 см³/100 г) по сравнению с другими образцами отличался хлеб из ХПС № 7, в составе которой ½ часть муки из цельносмолотой биоактивированной ржи была заменена мукой ржаной обдирной и ½ часть муки из цельносмолотой биоактивированной пшеницы — мукой пшеничной хлебопекарной первого сорта (Рисунки 6, 7).

Самым большим значением кислотности мякиша хлеба обладал образец на основе ХПС № 8 ($7,0 \pm 0,1$ град). Несмотря на несколько меньший удельный объем и пористость хлеба из ХПС № 8, по сравнению с образцами на основе ХПС № 6, № 7, № 9, № 10, указанный образец отличался не липким, практически не заминающимся мякишем, что обусловлено приготовлением его на основе

Рисунок 7

Внешний вид (а) и структура пористости мякиша (б) хлеба на основе ХПС (номер соответствует номеру ХПС)



ХПС, в 100 г которой содержится больше подкислителей, повышающих начальную кислотность полуфабриката, что в большей степени снижает активность амилалитических ферментов биоактивированного зерна пшеницы, ржи, муки ржаной обдирной. При этом меньше образуется декстринов, придающих мякишу липкость, заминаемость.

Установлено, что образцы, приготовленные на основе ХПС с сухой пшеничной клейковиной, незначительно отличались по органолептическим и физико-химическим показателям от хлеба, полученного с ХПС без ее применения.

Следовательно, осуществлять приготовление теста можно без включения в состав ХПС сухой пшеничной клейковины.

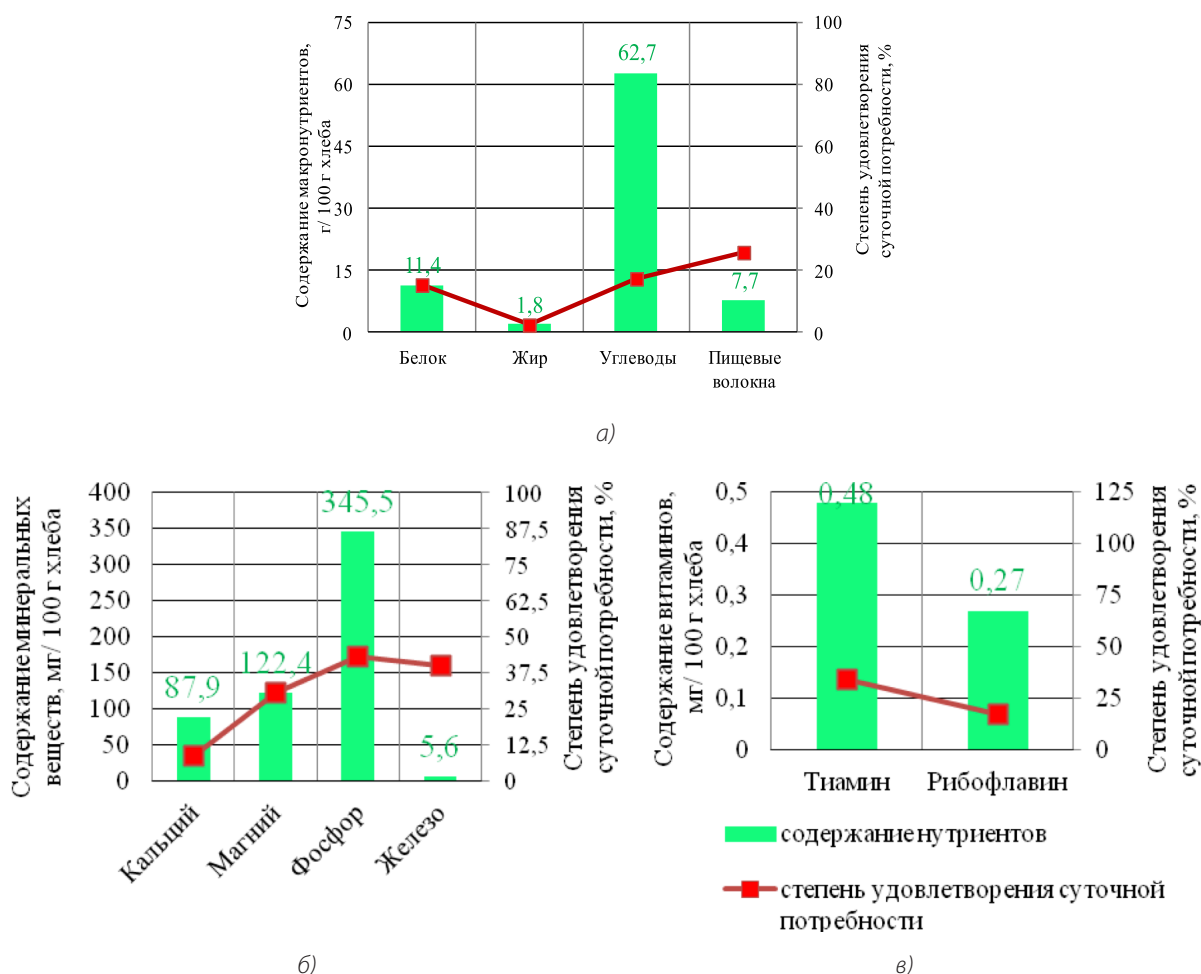
В результате проведенных исследований рекомендовано вырабатывать зерновой хлеб на основе ХПС № 8, рецептурный состав которой позволит производить изделия наилучшего качества с позиции наименьшей заминаемости и липкости мякиша по сравнению с изделиями, приготовленными на основе ХПС № 1–7 и № 9, № 10.

Далее была проведена оценка химического состава разработанного изделия на основе ХПС № 8, которая показала, что употребление 100 г хлеба позволит обеспечить суточную потребность по белку на 15,2 %, пищевым волокнам — на 25,7 %, минеральным веществам — на 8,8–43,2 %, витаминам — на 16,9–34,3 % (Рисунок 8).

Разработанное хлебобулочное изделие на основе зерновой хлебопекарной смеси относится к функциональным пищевым продуктам, т. к. степень удовлетворения

Рисунок 8

Содержание нутриентов в хлебе на основе ХПС № 8 и степень удовлетворения суточной потребности



а — в макронутриентах, б — в минеральных веществах, в — в витаминах

суточной потребности по пищевым волокнам, магнию, фосфору, железу, тиамину и рибофлавины при употреблении 100 г хлеба составляет не менее 15 %.

В ходе исследования был выявлен ряд результатов, которые заслуживают обсуждения:

- (1) Влияние состава ХПС на бродильную активность: образцы хлеба, приготовленные на основе ХПС с сухой пшеничной клейковиной, имели худшую бродильную активность. Этот результат объясняется наличием в составе ХПС муки из цельносмолотого биоактивированного зерна злаковых культур и сухой молочной сыворотки, содержащих аминокислоты, макро- и микроэлементы, которые стимулируют дрожжевые клетки к выделению большего количества диоксида углерода. Это делает хлеб более пористым и «воздушным».
- (2) Влияние состава ХПС на органолептические и физико-химические показатели хлеба: наилучшие показатели качества зернового хлеба наблюдались, когда в составе ХПС вносили муку пшеничную хлебопекарную первого сорта и ржаную обдирную, вместо муки из цельносмолотого биоактивированного зерна. Этот факт отражается в пористости и удельном объеме хлеба. Также стоит отметить, что увеличение содержания подкислителей в составе ХПС приводило к получению хлеба с менее влажным мякишем.
- (3) Важность кислотности для текстуры мякиша: хлеб, приготовленный на основе ХПС с высоким содержанием подкислителей, имеет более низкую начальную кислотность, что снижает активность амилолитических ферментов биоактивированного зерна пшеницы, ржи и муки ржаной обдирной. Это приводит к меньшему образованию декстринов, что, в свою очередь, делает мякиш менее липким и не заминающимся.
- (4) Сравнение с хлебом без применения ХПС с сухой пшеничной клейковиной: образцы хлеба, приготовленные с использованием ХПС с сухой пшеничной клейковиной, незначительно отличались по органолептическим и физико-химическим показателям от хлеба, приготовленного без ее применения. Иными словами, производители хлебобулочных изделий могут рассмотреть возможность снижения использования сухой пшеничной клейковины в составе ХПС без существенной потери качества продукта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных результатов исследований для производства зернового хлеба улучшенного качества рекомендовано в составе ХПС увеличить дозировку аскорбиновой и лимонной кислоты, молочной сыворотки, $\frac{3}{4}$ части муки из цельносмолотого биоактивированного зерна ржи заменить $\frac{1}{4}$ частью муки из цельносмолотого биоактивированного зерна пшеницы (23,63 %), $\frac{1}{4}$ частью муки пшеничной хлебопекарной первого сорта (23,63 %), $\frac{1}{4}$ частью муки ржаной обдирной (23,63 %) и исключить из состава ХПС сухую пшеничную клейковину. Кроме того, приготовление зернового хлеба на основе ХПС № 8 не требует осуществления процесса брожения и тестовые заготовки после деления сразу направляются на расстойку.

В результате оценки химического состава хлеба из ХПС № 8 установлено, что он относится к функциональным пищевым продуктам за счет значимого содержания магния, фосфора, железа, тиамина и рибофлавина.

Применение данной ХПС не только позволит получить хлеб хорошего качества с практически не заминающимся мякишем, данная технология будет способствовать расширению ассортимента функциональных изделий, доступных большому количеству потребителей.

Представленное исследование расширяет существующее знание о влиянии состава ХПС на качество зернового хлеба и предоставляет практические рекомендации для технологий производства функциональных хлебобулочных изделий. Его результаты могут быть полезны как для промышленных производителей, так и для потребителей, и вносят вклад в развитие ассортимента функциональных продуктов на рынке питания.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Алёхина Надежда Николаевна: концептуализация, разработка методологии исследования и его проведение, применение статистических методов для анализа данных исследования, редактирование рукописи.

Пономарева Елена Ивановна: научное руководство исследованием.

Бакаева Ирина Александровна: написание текста рукописи и его редактирование.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алехина, Н. Н. (2020). *Зерновой хлеб для повышения пищевого статуса населения: биоактивация злаковых культур, ресурсосбережение сырья, разработка технологий и расширение ассортимента продукции* [Дис. канд. техн. наук]. Воронеж.
- Alekhina, N. N. (2020). *Grain bread to improve the nutritional status of the population: Bioactivation of cereal crops, raw material conservation, technology development, and product range expansion* [Ph.D. dissertation in technical sciences]. Voronezh. (In Russ.)
- Алехина, Н. Н., Пономарева, Е. И., Жаркова, И. М. & Гребенщиков, А. В. (2021). Оценка функциональных свойств и показателей безопасности зернового хлеба с амарантовой мукой. *Техника и технология пищевых производств*, 51(2), 323–332. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>
- Alekhina, N. N., Ponomareva, E. I., Zharkova, I. M. & Grebenshchikov, A. V. (2021). Evaluation of functional properties and safety indicators of grain bread with amaranth flour. *Technique and Technology of Food Production*, 51(2), 323–332. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>
- Алехина, Н. Н., Пономарева, Е. И., Жаркова, И. М., & Желтикова, А. С. (2020). Исследование функциональных свойств зернового хлеба на основе хлебопекарных смесей с белковым обогатителем. *Пищевая промышленность*, 5, 8–12. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10046>
- Alekhina, N. N., Ponomareva, E. I., Zharkova, I. M., & Zheltikova, A. S. (2020). Study of the functional properties of grain bread based on baking mixes with protein enricher. *Food Industry*, 5, 8–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10046>
- Баева, А. А., Цидаев, А. С., & Тедтов, И. Э. (2021). Разработка способа замачивания зерна пшеницы при проращивании. В *Перспективы науки и общества в условиях инновационного развития* (с. 65–67). ООО «ОМЕГА САЙНС».
- Baeva, A. A., Tsidaev, A. S., & Tedtov, I. E. (2021). Development of a method for soaking wheat grain during germination. In *Prospects of Science and Society in Conditions of Innovative Development* (pp. 65–67). LLC «OMEGA SCIENCE». (In Russ.)
- Вейберов, А. В. (2021). Современное состояние и тренды развития рынка хлеба в Российской Федерации. *Инновации. Наука. Образование*, (32), 1331–1338.
- Veiberov, A. V. (2021). The current state and trends of the bread market development in the Russian Federation. *Innovations. Science. Education*, (32), 1331–1338. (In Russ.)
- Вершинина, О. Л., Зернаева, Е. А. & Бондаренко, А. Н. (2018). Разработка мучных композитных смесей для производства хлеба повышенной пищевой ценности. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 361(1), 53–56. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2018.1.15>
- Vershinina, O. L., Zernaeva, E. A. & Bondarenko, A. N. (2018). Development of flour composite mixtures for the production of bread with increased nutritional value. *News of Higher Educational Institutions. Food Technology*, 361(1), 53–56. (In Russ.) <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2018.1.15>
- Жаркова, И. М., Лавров, С. В., Самохвалов, А. А., Гребенщиков, А. В., & Мирошниченко, Л. А. (2019). Разработка функциональных пищевых продуктов для безглютенового и геродиетического питания, в том числе для профилактики остеопороза. *Хлебопродукты*, (12), 53–55. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-12-53-55>
- Zharkova, I. M., Lavrov, S. V., Samokhvalov, A. A., Grebenshchikov, A. V., & Miroshnichenko, L. A. (2019). Development of functional food products for gluten-free and gerodietetic nutrition, including for the prevention of osteoporosis. *Bread Products*, (12), 53–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-12-53-55>
- Князева, Д. Д. (2021). Потребление хлеба и хлебобулочных изделий в Российской Федерации. *Наука без границ*, 3(55), 67–73.
- Knyazeva, D. D. (2021). The consumption of bread and bakery products in the Russian Federation. *Science Without Borders*, 3(55), 67–73. (In Russ.)
- Науменко, Н. В., Потороко, И. Ю., & Калинина, И. В. (2019). Интенсификация процесса проращивания зерна, используемого для производства хлеба, и его влияние на качество готовых изделий. *Индустрия питания*, 4(1), 47–54. <http://doi.org/47-54.10.29141/2500-1922-2019-4-1-5>
- Naumenko, N. V., Potoroko, I. Y., & Kalinina, I. V. (2019). Intensification of the grain germination process used for bread production and its impact on the quality of finished products. *Food Industry*, 4(1), 47–54. <http://doi.org/47-54.10.29141/2500-1922-2019-4-1-5>
- Наумова, Н. Л., Каменева, К. С., & Щевьева, К. В. (2020). About the possibility of modifying the recipe of «fitness» buckwheat bread by using walnut flour. *Современная наука и инновации*, (2), 66–72. <https://doi.org/10.33236/2307-910X-2020-2-30-61-66>
- Naumova, N. L., Kameneva, K. S., & Schev'eva, K. V. (2020). On the possibility of modifying the recipe of «fitness» buckwheat bread using walnut flour. *Modern Science and Innovations*, (2), 66–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.33236/2307-910X-2020-2-30-61-66>

- Невская, Е. В., Тюрина, И. А., Тюрина, О. Е., Шулбаева, М. Т., Потапова, М. Н., & Головачева, Я. С. (2019). Разработка хлебопекарных композитных смесей для здорового питания. *Техника и технология пищевых производств*, 49(4), 531–544. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-531-544>
- Nevskaya, E. V., Tyurina, I. A., Tyurina, O. E., Shulbaeva, M. T., Potapova, M. N., & Golovacheva, Y. S. (2019). Development of baking composite mixes for healthy eating. *Technique and Technology of Food Production*, 49(4), 531–544. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-531-544>
- Носкова, Д. В., & Шевелева, Т. Л. (2019). Разработка рецептов пшеничного хлеба, обогащенного пищевыми волокнами диспергированного зерна. *Мир инноваций*, (4), 34–39.
- Noskova, D. V., & Sheveleva, T. L. (2019). Development of recipes for wheat bread enriched with dietary fibers of dispersed grain. *World of Innovations*, (4), 34–39. (In Russ.)
- Погожева, А. В. (2012). Продукты здорового питания. *Материалы X научно-практической конференции «Технологии и продукты здорового питания. Функциональные пищевые продукты»* (с. 26–27). МГУПП.
- Pogozheva, A. V. (2012). Healthy nutrition products. *Proceedings of the X Scientific-Practical Conference «Technologies and Products of Healthy Nutrition. Functional Food Products»* (pp. 26–27). MGUPP. (In Russ.)
- Пономарева, Е. И., Лукина, С. И., Алехина, Н. Н., Малютин, Т. Н. & Воропаева, О. Н. (2022). *Практикум по технологии отрасли (технология хлебобулочных изделий)*. Санкт-Петербург: Издательство «Лань».
- Ponomareva, E. I., Lukina, S. I., Alekhina, N. N., Malyutina, T. N., & Voropaeva, O. N. (2022). *Workshop on industry technology (bakery technology)*. St. Petersburg: Lan Publishing House.
- Пушмина, И. Н., Кольман, О. Я., Коюпченко, И. Н., & Кудрявцев, М. Д. (2021). Формирование ассортиментной концепции функционального хлеба массового ассортимента. *Торговля, сервис, индустрия питания*, 1(1), 64–79. <https://doi.org/10.17516/2782-2214-0007>
- Pushmina, I. N., Kolman, O. Y., Koyupchenko, I. N., & Kudryavtsev, M. D. (2021). Formation of the assortment concept of functional bread for mass assortment. *Trade, Service, Food Industry*, 1(1), 64–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.17516/2782-2214-0007>
- Ребезов, М. Б., Наумова, Н. Л., Кофанова, М. Ю., Выдрина, Н. В. & Демидов, А. В. (2012) О возможности обогащения хлебобулочных изделий функциональными ингредиентами. *Техника и технология пищевых производств*, 1, 55–59.
- Rebezov, M. B., Naumova, N. L., Kofanova, M. Y., Vydrina, N. V., & Demidov, A. V. (2012). On the possibility of enriching bakery products with functional ingredients. *Technique and Technology of Food Production*, 1, 55–59. (In Russ.)
- Серебренникова, Е. С., Анисимова, Л. В. (2022). Качество муки из зерна сорго и реологические свойства теста из смеси пшеничной и сорговой муки. *Ползуновский вестник*, 3, 71–80. <http://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.010>
- Serebrennikova, E. S., Anisimova, L. V. (2022). Quality of flour from sorghum grain and rheological properties of dough from a mixture of wheat and sorghum flour. *Polzunovsky Vestnik*, 3, 71–80. (In Russ.) <http://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.010>
- Солонина, В. А., Абжуева, А. В. & Терентьева, О. Н. (2019). Сравнительная характеристика потребительской корзины в России и странах Европы. *Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции «Роль инноваций в трансформации современной науки»* (с. 85). OMEGA SCIENCE.
- Solonina, V. A., Abzhueva, A. V., & Terentyeva, O. N. (2019). Comparative characteristics of the consumer basket in Russia and European countries. *Collection of articles of the All-Russian Scientific-Practical Conference «The Role of Innovations in the Transformation of Modern Science»* (p. 85). OMEGA SCIENCE. (In Russ.)
- Субботина, Н. А. (2019). Применение продуктов переработки овса в технологии производства хлебобулочных изделий. *Сборник статей «Научно-техническое обеспечение агропромышленного комплекса в реализации Государственной программы развития сельского хозяйства до 2020 года»* (с. 763–769). КГСА им. Т.С. Мальцева.
- Subbotina, N. A. (2019). The use of oat processing products in the technology of bakery production. *Collection of articles «Scientific and technical support of the agro-industrial complex in the implementation of the State Program for the Development of Agriculture until 2020»* (pp. 763–769). KSA named after T.S. Maltsev. (In Russ.)
- Шаболкина, Е. Н., Анисимкина, Н. В., Шевченко, С. Н., Баталова, Г. А. & Бишарев, А. А. (2019). Использование зерна овса голозерного в хлебопечении. *Достижения науки и техники АПК*, 33(11), 74–77. <http://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11116>
- Shabolkina, E. N., Anisimkina, N. V., Shevchenko, S. N., Batalova, G. A., & Bisharev, A. A. (2019). The use of naked oat grain in bread baking. *Achievements in Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*, 33(11), 74–77. (In Russ.) <http://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11116>
- Amoah, I., Cairncross, C., Sturny, A., & Rush, E. (2019). Towards improving the nutrition and health of the aged: the role of sprouted grains and encapsulation of bioactive compounds in functional bread-a review. *International*

- Journal of Food Science & Technology*, 54(5), 1435–1447.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.13934>
- Day, L., Cakebread, J. A., & Loveday, S. M. (2022). Food proteins from animals and plants: Differences in the nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 428–442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.020>
- Finnie, S., Brovelli, V., & Nelson, D. (2019). Sprouted grains as a food ingredient. In *Sprouted grains* (pp. 113–142). AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00006-3>
- Johnston, R., Martin, J. M., Vetch, J. M., Byker-Shanks, C., Finnie, S., & Giroux, M. J. (2019). Controlled sprouting in wheat increases quality and consumer acceptability of whole-wheat bread. *Cereal Chemistry*, 96(5), 866–877. <https://doi.org/10.1002/cche.10187>
- Khalek, M. H. A. E. (2020). Production of ready-to-bake whole grain barley cake mix with improved quality. *Asian Food Science Journal*, 18(3), 24–33. <https://doi.org/10.9734/afsj/2020/v18i330219>
- Kuznetsova, E. A., Mordvinkin, S. A., Taranova, E. S., Venetianskij, A. S., Kalmykova, O. V., & Borisova, A. G. (2021, February). Research on possibilities of non-traditional flour types use in baking industry. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 640, № 2, p. 022067). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022067>
- Naumenko, N., Potoroko, I., Kalinina, I., Fatkullin, R., & Ivanisova, E. (2021). The influence of the use of whole grain flour from sprouted wheat grain on the rheological and microstructural properties of dough and bread. *International Journal of Food Science*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/7548759>
- Peñaranda, J. D., Bueno, M., Álvarez, F., Pérez, P. D., & Perezábad, L. (2021). Sprouted grains in product development. Case studies of sprouted wheat for baking flours and fermented beverages. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100375. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100375>
- Whitney, K., & Simsek, S. (2020). Potato flour as a functional ingredient in bread: evaluation of bread quality and starch characteristics. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(12), 3639–3649. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14698>

Оценка смачивающих свойств пероксида водорода в контексте безопасного применения при асептическом розливе молока

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

Всероссийский
научно-исследовательский
институт молочной
промышленности
(ФГАНУ «ВНИМИ»), Российская
Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: В системах асептического розлива упаковочные материалы стерилизуются различными методами, чтобы уничтожить микроорганизмы. Одним из самых популярных методов стерилизации упаковочного материала является использование пероксида водорода. Для эффективной инактивации микроорганизмов и однородной обработки поверхности асептической упаковки параметр смачиваемости поверхности играет важную роль. Улучшение смачивающих свойств растворов пероксида водорода путем добавления поверхностно-активных веществ позволит повысить контакт стерильнта с обрабатываемой поверхностью лиофобного многослойного упаковочного материала, обеспечивая необходимую стерилизующую способность и обеззараживающее действие при асептическом розливе молока и молочных продуктов.

Цель: Изучение смачивающих свойств концентрированных растворов пероксида водорода по отношению к различным субстратам и возможности их коррекции поверхностно-активными веществами для обеспечения лучшей смачиваемости упаковки и безопасных режимов ее обеззараживания.

Материалы и методы: Объектами исследований являлись: дезинфицирующая субстанция и стерильнт — пероксид водорода, поверхностно-активные вещества, используемые в качестве технологических вспомогательных средств на предприятиях пищевой промышленности и комбинированные многослойные упаковочные материалы на основе бумаги, картона, алюминиевой фольги и полимерных материалов, используемые в процессах асептического розлива молока. Смачивающую способность оценивали по краевому углу смачивания в 3-х фазной системе: адгезив (пероксид водорода, вода, растворы ПАВ) — субстрат (упаковочный материал, стальная пластина, стекло) — воздух методом лежащей капли по методу Юнга-Лапласа; поверхностное натяжение оптическим методом висящей капли с помощью прибора DSA25S; поверхностное натяжения растворов от температуры в диапазоне 30–70 °C определяли методом наибольшего давления образования пузырьков. Наличие остаточных количеств смачивателя ПАВ-полисорбата на упаковочном материале, подвергнутом стерилизации проводили методом ВЭЖХ.

Результаты: Упаковочный материал Tetra Brik® Aseptic обладает выраженными лиофобными свойствами. Введение в раствор пероксида водорода (~35 % о.в.) 0,1 % ПАВ-полисорбата позволила снизить краевой угол смачивания более чем на 50 %, с 93,75 ° до 40,99 °, существенно снизить показатель поверхностного натяжения на (45–48 %).

Выводы: Улучшение смачивающих свойств растворов пероксида водорода позволит улучшить контакт стерильнта с обрабатываемой поверхностью лиофобного многослойного упаковочного материала за счет добавления поверхностно-активного вещества, обеспечивая необходимую стерилизующую способность и обеззараживающее действие при асептическом розливе молока и молочных продуктов. Режимы применения растворов пероксида водорода с введением 0,1 % НПАВ-полисорбата в условиях асептического розлива с позиций эффективности обеззараживания упаковочного материала и безопасности, связанной с удалением его остаточных количеств, позволяют рассматривать его как технологическое вспомогательное вещество.

Ключевые слова: пероксид водорода; стерилизация упаковочного материала; смачивание поверхности; поверхностно-активное вещество; химическая контаминация

Корреспонденция:

Маневич Борис Владиленович,

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»), г. Москва, Люсиновская 35, корп. 7
e-mail: b_manevich@vnimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 10.01.2023

Принята: 23.03.2023

Опубликована: 30.09.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Маневич, Б.В., Жижин, Н.А., Бурыкина, Е.А., & Титов, Е.Н. (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/jeac.2022.2.21>

Evaluation of Hydrogen Peroxide Wetting Properties in the Context of Safe Application in Aseptic Milk Filling

Boris V. Manevich, Nikolay A. Zhizhin, Elena A. Burykina, Evgeny N. Titov

ABSTRACT

Introduction: In aseptic filling systems, packaging materials are sterilized using various methods to eliminate microorganisms. One of the most popular methods for sterilizing packaging materials is the use of hydrogen peroxide. The wetting property of the surface plays a crucial role in ensuring effective inactivation of microorganisms and uniform treatment of the aseptic packaging. Improving the wetting properties of hydrogen peroxide solutions by adding surfactants will enhance the contact of the sterilant with the lyophobic multilayer packaging material's treated surface, providing the necessary sterilizing ability and disinfectant action during the aseptic filling of milk and dairy products.

Purpose: To study the wetting properties of concentrated hydrogen peroxide solutions on various substrates and the possibility of their correction with surfactants to ensure better packaging wetting and safe disinfection processes.

Materials and Methods: The objects of the study included the disinfecting substance and sterilant — hydrogen peroxide, surfactants used as technological aids in the food industry, and combined multilayer packaging materials based on paper, cardboard, aluminum foil, and polymer materials used in aseptic milk filling processes. Wetting ability was evaluated by the contact angle in a 3-phase system: adhesive (hydrogen peroxide, water, surfactant solutions) — substrate (packaging material, steel plate, glass) — air using the drop shape analysis based on the Young-Laplace method; surface tension was determined by the optical drop shape analysis using the DSA25S device; surface tension of solutions at temperatures ranging from 30 to 70 °C was determined using the maximum bubble pressure method. The presence of residual amounts of the surfactant polysorbate on the sterilized packaging material was analyzed by HPLC.

Results: The Tetra Brik® Aseptic packaging material exhibits pronounced lyophobic properties. The introduction of 0.1 % polysorbate surfactant into the hydrogen peroxide solution (~35 % w/w) reduced the contact angle by more than 50 %, from 93.75° to 40.99°, and significantly decreased the surface tension (45–48 %).

Conclusion: Improving the wetting properties of hydrogen peroxide solutions will enhance the contact of the sterilant with the treated surface of the lyophobic multilayer packaging material by adding a surfactant, ensuring the necessary sterilizing ability and disinfectant action during the aseptic filling of milk and dairy products. The application conditions of hydrogen peroxide solutions with the addition of 0.1 % nonionic surfactant polysorbate in aseptic filling, considering both effectiveness in disinfecting packaging material and safety related to the removal of its residual amounts, allow considering it as a technological aid.

Keywords: hydrogen peroxide; packaging material sterilization; surface wetting; surfactant; chemical contamination

Correspondence:

Manevich Boris Vladilenovich,
All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIMI»),
35 Lyusinovskaya, Building 7,
Moscow, Russian Federation.
e-mail: b_manevich@vnimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 10.01.2023

Accepted: 23.03.2023

Published: 30.03.2023

Copyright: © 2023 The Authors



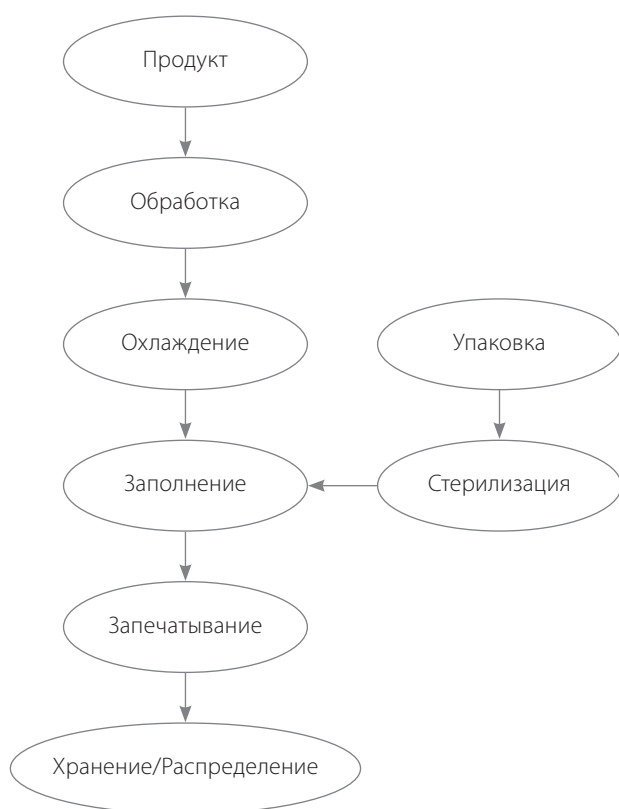
To cite: Manevich, B.V., Zhizhin, N.A., Burykina, E.A., & Titov, E.N. (2023). Evaluation of hydrogen peroxide wetting properties in the context of safe application in aseptic milk filling. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 54-65. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.21>

ВВЕДЕНИЕ

Упаковка играет важную роль в процессе производства пищевых продуктов. Это создает удобство при использовании продукта, обеспечивает безопасность от контаминации микроорганизмами, биологических и химических изменений, что в свою очередь обеспечивает длительный срок хранения упакованных продуктов. Чтобы удовлетворить спрос на обработанные пищевые продукты с длительным сроком хранения в пищевой промышленности используются различные методы упаковки, одним из которых является асептическая упаковка. Асептическая упаковка — это технология, в процессе которой продукт и тара стерилизуются отдельно, затем продукт в стерильных условиях упаковывают. Типовая схема процесса упаковки представлена на Рисунке 1.

Рисунок 1

Блок-схема системы асептической упаковки



Асептическая упаковка дает преимущества как потребителю, так и каналам сбыта, что связано с уменьшением затрат на доставку и хранение, увеличением сроков годности, снижением нагрузки на холодильные камеры, исключением применения различных консервантов и, как следствие — экономическая эффективность.

Наибольшее распространение при обеззараживании упаковочных материалов получил метод химической стерилизации растворами пероксида водорода (Jildeh, 2020), обработка озоном (Khadre, 2001), смесью пероксида водорода (H_2O_2) и надуксусной кислоты (Gonzalez-Aguilar, 2012) и кроме этого используют физические методы: термический (Deeth, 2017), ультрафиолетовое (УФ-) (Chiozzi, 2022) или инфракрасное (ИК-) облучение (Федотова, 2008).

Асептическую упаковку чаще всего используют для продуктов следующих категорий:

- молочная продукция, молоко — 65%;
- соки, безалкогольные напитки — 25%;
- жидкие продукты питания (супы, пасты, соусы) — 10%¹.

При производстве молочных продуктов с длительным сроком хранения требуется не только проведение качественной мойки и дезинфекции, но и реализация асептического производства, подразумевающая стерилизацию всех задействованных в этом процессе объектов окружающей среды. Соответственно, при асептическом производстве продукции существует несколько контролируемых асептических зон, одна из которых — стерилизация упаковки.

К процессу асептической упаковки и химической стерилизации упаковочного материала предъявляются следующие требования:

- быстрая антимикробная активность;
- совместимость с обрабатываемыми поверхностями, особенно с упаковочным материалом и оборудованием;
- легкое удаление с обработанной поверхности стерильнта или его минимально допустимый остаток;
- безопасность для здоровья потребителя;
- отсутствие отрицательного влияния на качество продукта в случае неизбежного остатка или ошибочно высокой концентрации;

¹ Мамаев, А. (2021). Тара и упаковка молочных продуктов. Практическое руководство: учебное пособие для СПО. 3-е изд. Лань.

- безопасность для здоровья обслуживающего персонала, обслуживающего упаковочное оборудование;
- экологическая безопасность;
- отсутствие коррозионной активности стерильанта по отношению к контактным поверхностям;
- надежность и экономичность средства обеззараживания (Хамидуллина, 2020).

Стерилизацию упаковочного материала в полной мере следует отнести к одной из критических контрольных точек в зоне асептического производства в целом и технологическом процессе асептического розлива молока в частности. На Рисунке 2 показаны ключевые факторы, которые необходимо контролировать для успешного результата данного процесса: доказанная эффективность используемого стерильанта, концентрация активного действующего вещества в растворе, хорошая смачиваемость обеззараживаемой поверхности стерильантом, время обеззараживания (экспозиция) и температура обработки.

Пероксид водорода в настоящее время является одним из самых востребованных химических стерильантов, используемых для стерилизации упаковочных материалов, доказавший свою эффективность. В основе противомикробного действия перекиси водорода лежит ее окислительный потенциал (Маневич, 2018). Антимикробная активность пероксида водорода при комнатной температуре относительно невелика (Nadruz, 2023), но может быть значительно увеличена путем

повышения либо температуры до 85–90°C, либо её концентрации по основному веществу (о.в.). Температурный фактор играет важную роль в проявлении различных свойств пероксида водорода (Abidullah, 2019), что отчасти можно объяснить эмпирическим правилом химической кинетики Вант-Гоффа.

В большинстве систем асептической фасовки и розлива используется H_2O_2 в концентрации от 30% до 37% с последующей обработкой горячим стерильным воздухом (60–125 °C) для усиления стерилизующего эффекта и удаления остаточных количеств H_2O_2 . На эффективность пероксида водорода в качестве дезинфектанта и стерильанта влияют температура, продолжительность обработки, значение pH пероксида водорода, концентрация, количество, нанесенное на упаковочный материал на единицу площади, температура и количество сушильного воздуха, микробная нагрузка и присутствующие виды организмов (Chavan, 2016), а так же примеси содержащихся в самой перекиси (сухой остаток), что особенно актуально при образовании трудно-удаляемого осадка на испарителе.

Об используемых в молочной промышленности способах обработки упаковки, преимуществах и недостатках, свойственных каждому из них, достаточно подробно сообщалось в работах (Федотова, 2006), (Мяленко, 2020), (Фильчакова, 2008) специалистов ВНИМИ Федотовой О.Б., Мяленко Д.М., Фильчаковой С.А. Ими отмечается рациональность, прогрессивность и тех-

Рисунок 2

Контролируемые факторы в процессах стерилизации упаковочного материала



нологичность асептического типа обеззараживания тары и упаковки, как процесса химической, а зачастую, в комбинации с физическими факторами, стерилизации при розливе и фасовке продукции.

Существует три основных способа нанесения перекиси водорода на упаковочные материалы: погружение, распыление и ополаскивание.

Погружение: упаковочный материал снимают с катушки и погружают в ванну с водным раствором 30–33 % перекиси водорода. Избыток раствора удаляется с помощью отжимных валиков или струй воздуха после удаления материала из ванны, в результате чего остается тонкая пленка раствора, который затем высушивается с помощью горячего воздуха. Иногда для обеспечения равномерного смачивания поверхностей рекомендуется добавлять смачивающие агенты. Для повышения эффективности, особенно в случае запыленного или слегка загрязненного материала, может быть добавлена предварительная обработка материала вращающимися щетками, стерильными струями сжатого воздуха или ультразвуком, воздействующим на ванну со стерилиантом (Toledo, 1986).

Распыление — это метод для предварительно сформированных контейнеров, при котором перекись водорода распыляется в контейнер в виде небольших диспергированных капель. Распыление не дает когезионного эффекта из-за гидрофобных свойств пластика, так как при этом покрывается только 30–40 % внутренних поверхностей контейнера, что не обеспечивает необходимого качества обеззараживания и стерильности материала. Обычный распылитель дает на поверхности капли диаметром более 30 мкм, при этом покрывается только 30–40 % площади поверхности. Ультразвуковую систему можно использовать для получения частиц диаметром всего 3 мкм, что обеспечит среднее покрытие поверхности около 60 %. Распределение капель по размерам от 2 до 80 мкм и распределение капель на внутренних поверхностях контейнеров различной геометрической формы являются проблематичными. Эффективность зависит от объема распыляемого раствора; однако, чем больше объем, тем дольше время высыхания. Сушку необходимо проводить горячим стерильным воздухом. Усовершенствованные аэрозоль-

ные распылители позволяют получать размер капель до 2–4 мкм, наносить уменьшенный объем раствора перекиси и, соответственно, сократить время высыхания. Этот метод заменяется использованием смеси горячего воздуха и испаренной перекиси. Стерилизация парами перекиси водорода является экономически эффективной альтернативой, поскольку используется наименьшее количество перекиси водорода. При этом количество перекиси водорода, адсорбированного на обработанной поверхности из паровой фазы, будет на несколько порядков меньше, чем из жидкой пленки. Поэтому промывка обработанной паром поверхности низкотемпературным стерильным воздухом, не содержащим паров перекиси водорода, может эффективно удалить остатки (Hedrick, 1973).

Ополаскивание: сборные емкости сложной формы, для которых процесс распыления непригоден, можно ополаскивать 30–33 % водным раствором перекиси водорода. Для стерилизации при температуре окружающей среды ее можно комбинировать с надуксусной кислотой (НУК), проявляющей с позиций антимикробной эффективности синергетический эффект (Маневич, 2018). Контейнеры осушают, дают высохнуть, а затем полностью высушивают горячим стерильным воздухом. Таким образом обрабатываются стеклянные контейнеры, металлические банки и выдувные пластиковые бутылки (Hedrick, 1973).

К качеству перекиси водорода, используемого на линиях асептического розлива и упаковки пищевых сред, предъявляются гораздо более жесткие требования, чем к медицинской и технической (марок А и Б) перекиси.

Основные нормируемые физико-химические характеристики перекиси водорода, квалифицируемого по качеству как пищевой, асептический или упаковочный представлены в Таблице 1 на основании спецификации компании «Tetra Pak» и сертификатов качества некоторых изготовителей (поставщиков), присутствующих на российском рынке перекиси водорода.

Среди свойств растворов перекиси водорода (концентрация ~35 % о.в.) при 20 °С необходимо отметить более высокое поверхностное натяжение ($\sigma = 78\text{--}79 \text{ мН/м}$)¹ по сравнению с водой ($\sigma = 72 \text{ мН/м}$)² и, связанная с этим, недостаточная смачивающая способность. Для

¹ Равдель А., Пономарева А. (1983). *Краткий справочник физико-химических величин* (изд. 8, с. 20–21). Л: Химия.

² Там же.

Таблица 1

Спецификации пероксида водорода для асептического розлива и фасовки различных производителей и поставщиков

Показатели	Значения			
	Tetra Pak	Eka HP A35	IPEROX-FG	IPEROX — TETRA
Концентрация, о.в. %	30,0–40,0	35,0–35,5	35,0–35,8	35,0–40,0 35,0–35,8* ⁵
Плотность (20 °С), г/см ³	1,132–1,153	1,130–1,135	1,132–1,135	1,132–1,135
Стабильность, (при 96 °С) %	≤ 5* ¹	≤ 3* ²	≤ 3* ³	< 1* ⁴
Кислотность (в пересчете на H ₂ SO ₄), %	0,02–0,04	0,05	0,03	0,05
Фосфаты, мг/дм ³	< 80	≤ 80	< 50	< 50
Хлориды, мг/дм ³	< 1	≤ 1	—	≤ 1
Железо, мг/дм ³	—	≤ 0,1	0,5	≤ 0,5
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см	> 50	—	—	≥ 130 60–90* ⁵
Нелетучие вещества (сухой остаток), ppm	< 150	≤ 150	60	60

Примечание. *¹ — при 96 °С; *² — при 95 °С; *³ — при 100 °С; *⁴ — при 96 °С; *⁵ — отличия в спецификациях на пероксид водорода торговой марки IPEROX — TETRA разных поставщиков.

повышения смачивающих свойств пероксида водорода могут использоваться различные поверхностно-активные вещества, например, этоксилированные спирты и/или жирные кислоты, лауретсульфат натрия, катионные ПАВ (КПАВ) — четвертичные аммониевые соединения, полиглюкозиды, полиоксиэтиленсорбитаны и другие. Введение в состав некоторых ПАВ, в первую очередь — катионных, может повлиять на повышение антимикробной активности перекиси водорода, о чем говорится в Федеральных клинических рекомендациях по выбору дезинфицирующих средств¹. ПАВ в широком смысле — это вещества, проявляющие свойства адсорбатов на поверхностях раздела двух фаз и растворы которых способствуют снижению поверхностного (межфазного) натяжения, помогают увеличить адгезию между раствором и поверхностью упаковочного материала, что будет способствовать лучшему смачиванию.

Целью данной работы являлось улучшение смачивающей способности растворов пероксида водорода для обеспечения полного контакта с обеззараживаемой поверхностью добавлением в состав поверхностно-активных веществ (ПАВ) с последующим удалением с поверхности упаковочного материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Добавление ПАВ к растворам пероксида водорода может не только улучшить её смачивающие свойства, повлиять на эффективность обеззараживания упаковочного материала, но и стать потенциальным источником химической контаминации упаковываемой продукции. Поэтому основными критериями при выборе ПАВ рассматривались токсикометрические показатели, смачивающая способность по отношению к исследуемым упаковочным материалам (субстратам), проявление антимикробных свойств и совместимость с концентрированными растворами пероксида водорода. Предпочтение было отдано ПАВ, в том числе неионогенным (НПАВ) из группы полисорбатов, используемым в качестве технологических вспомогательных средств (веществ) на предприятиях пищевой промышленности по ТР ТС 029/2012.

В качестве функциональных компонентов для улучшения смачивающих свойств концентрированных растворов пероксида водорода использовали различные ПАВ (см. Таблицу 2).

¹ 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. Москва.

² ТР ТС 029/2012 Технический регламент Таможенного союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств»: [принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 года № 58]. (Источник: ИСС «ТЕХЭКСПЕРТ»)

Таблица 2

Карта образцов выбранных ПАВ

Обозначение образца	Наименование
1	НПАВ из группы полисорбатов (Е433, полиоксиэтилен сорбитан моноолеат)
2	Глицерол (Е422, 1,2,3-пропантриол)
3	Пропиленгликоль (Е1520, пропан-1,2-диол)
4	Сорбитол (Е420, глюцит)
5	КПАВ — цетилпиридиний хлорид (ТР ТС 029/2012, приложение 25)

Оборудование и процедура исследования

Смачивающую способность оценивали по краевому углу смачивания (КУС, θ) в 3-х фазной системе: адгезив (пероксид водорода, вода, растворы ПАВ) — субстрат (упаковочный материал TetraBrik®Aseptic, стальная пластина, стекло) — воздух методом лежащей капли по методу Юнга-Лапласа (Директор, 2010), а поверхностное натяжение (ПН) оптическим методом висящей капли с помощью прибора DSA25S (Krüss Optronic GmbH, Германия) и программного обеспечения KrüssAdvance 1.12.2.06901 (Аристов, 2016).

Количественное содержания остаточных веществ на упаковочном материале определяли методом ВЭЖХ. Был использован жидкостной хроматограф «Маэстро» (Россия), оснащенный системой градиентного элю-

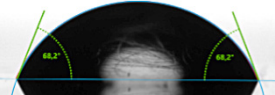
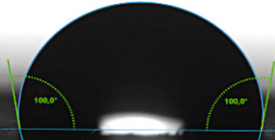
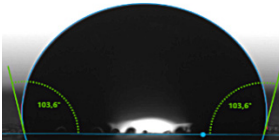
ирования, термостатом колонок и диодно-матричным детектором. Разделение проводили на колонке ZORBAXExtend C18 250 × 4,6 мм (Agilent, США). Условия хроматографирования были следующими: элюент А — ацетатный буфер (pH-4,3), элюент Б — ацетонитрил. Элюирование проводилось в градиентном режиме: начальное соотношение элюента А к элюенту Б 95:5 (V/V), далее за 30 минут соотношение элюента А к элюенту Б переходит в соотношение 30:70 (V/V). После чего за 6 минут возвращаемся к начальным условиям 95:5. Скорость потока подачи элюента — 1 мл/мин. Температура термостата колонок 35 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Контактное смачивание поверхности характеризуется углом контакта или краевым углом смачивания (КУС). Растеканию адгезива по поверхности субстрата и хорошему смачиванию противодействует сила, связанная со множеством факторов, но одними из ведущих являются вязкость адгезива и степень шероховатости субстрата — поверхности твердого материала. Шероховатость контактных поверхностей и их гидрофильные/гидрофобные свойства играют немаловажную роль в физической составляющей процесса адгезии (Маневич, 2020). Установлена смачивающая способность адгезивов (концентрированных растворов пероксида водорода и дистиллированной воды) различных субстратов (тест-поверхностей) при температуре 23 ± 1 °С.

Таблица 3

КУС дистиллированной водой и раствором пероксида водорода различных субстратов при $t = 23 \pm 1$ °С

Субстрат	Краевой угол смачивания (КУС) адгезивов, °	
	Вода дистиллированная (ГОСТ Р 58144–2018)	Пероксид водорода (35,5 ± 1,5% о.в.)
Сталь нерж.	68,2 ± 1,1 	73,0 ± 0,8 
Стекло	49,8 ± 0,6 	56,5 ± 1,0 
Упаковочный материал	100,0 ± 0,7 	103,6 ± 1,2 

Представленные результаты (см. Таблица 3) наглядно демонстрируют, что растворы пероксида водорода хуже смачивают поверхности тестируемых материалов, что может быть связано с более высоким значением поверхностного натяжения (σ) препарата при 20°C, составляющего 79–80 мН/м по сравнению с водой ($\sigma = 72$ мН/м)¹. Улучшение смачиваемости, снижение КУС и поверхностного натяжения может быть достигнуто введением в состав поверхностно-активных веществ.

В дистиллированную воду и в концентрированные растворы пероксида водорода (~35,2 % о.в.), находящиеся в стерильных емкостях, вводили по 0,1 % (о.в.) представленных выше образцы ПАВ (Таблица 2).

На субстратах (нержавеющая сталь, стекло, упаковочный материал TetraBrik®Aseptic) определяли КУС водных растворов (H₂O) с введенными ПАВ и растворов пероксида водорода (H₂O₂) с ПАВ. Смачивающая способность, характеризующаяся КУС данных адгезивов, представлена в Таблице 4.

Таблица 4

КУС адгезивов на субстратах при $t = 23 \pm 1$ °C

Адгезив	КУС на субстратах, °		
	Сталь нерж.	Стекло	Упак. материал
H ₂ O + 1	58,68 ± 1,34	28,58 ± 1,02	65,04 ± 1,00
H ₂ O + 2	69,45 ± 0,87	26,87 ± 0,64	91,31 ± 0,84
H ₂ O + 3	71,14 ± 0,82	34,16 ± 0,82	99,05 ± 0,71
H ₂ O + 4	68,14 ± 1,31	26,68 ± 0,71	100,87 ± 0,92
H ₂ O + 5	63,37 ± 1,66	38,46 ± 0,73	88,91 ± 1,02
H ₂ O ₂ (35,2 % о.в.)	72,53 ± 0,82	54,36 ± 0,54	93,75 ± 1,00
H ₂ O ₂ + 1	43,90 ± 1,15	22,52 ± 0,33	40,99 ± 2,21
H ₂ O ₂ + 2	64,30 ± 0,36	32,47 ± 0,26	82,43 ± 1,50
H ₂ O ₂ + 3	71,11 ± 0,32	32,76 ± 0,28	93,00 ± 0,74
H ₂ O ₂ + 4	56,60 ± 0,31	34,24 ± 0,25	88,56 ± 0,55
H ₂ O ₂ + 5	56,42 ± 0,74	24,68 ± 0,44	62,05 ± 2,43

Влияние вводимых веществ на смачиваемость адгезивов проявляется по-разному. Наилучшая смачиваемость у всех растворов отмечена в отношении стекла, а на поверхности из нержавеющей стали введение ПАВ проявилось различно. Введение (0,1 %) глицерола и пропиленгликоля в воду незначительно, но увеличили КУС и, соответственно, ухудшили смачиваемость. Несмотря на то, что у этих веществ поверхностное натяжение су-

щественно ниже, чем у воды и пероксида водорода и их можно отнести к ПАВ, они увеличивают КУС, что связано, по-видимому, с их выраженными гигроскопичными свойствами. Сорбитол в растворах проявляет свойства многоатомных спиртов и являясь основным сырьевым компонентом в производстве полисорбатов, не оказал влияние на улучшение смачиваемости тестируемых субстратов, что вероятно можно объяснить его осмотическим действием. Цетилпиридиний хлорид, являясь бактерицидной субстанцией, улучшает смачивающую способность, но не существенно, как большинство катионных ПАВ, проявляющих часто свойства антистатиков. Образец 1 — полиоксиэтилен сорбитан моноолеат из тестируемых ПАВ проявил наилучшие смачивающие свойства в водных растворах и в растворе пероксида водорода на всех субстратах, в том числе на лиофобных поверхностях упаковочных материалов. Введение в раствор пероксида водорода 0,1 % этого полисорбата позволило снизить краевой угол смачивания более чем на 50 %, с 93,75° до 40,99°.

Концентрацию 0,1 % полиоксиэтилен сорбитан моноолеата в растворе пероксида водорода стоит считать рациональной с позиций обеспечения смачиваемости лиофобной поверхности и минимального содержания данного ПАВ в растворе, соприкасающегося с поверхностью упаковочного материала, непосредственно контактирующего с пищевым продуктом. Оценка смачиваемости по КУС субстратов растворами пероксида водорода (~35,2 % о.в.) с различным содержанием (0,05–0,30 %) полиоксиэтилен сорбитан моноолеата приведена на Диаграмме 1.

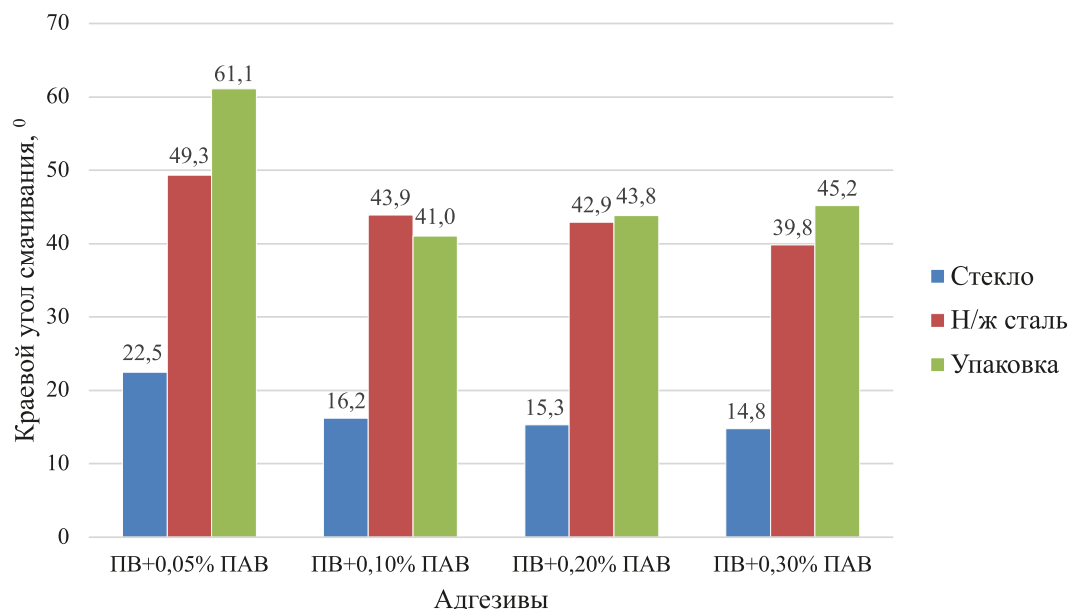
Процесс химической дезинфекции и стерилизации упаковочного материала, непосредственно контактирующего после обработки с готовым продуктом, связан с опасностью химической контаминации продукции (Маневич, 2023). В контексте выпуска качественной и безопасной продукции и исключения возможности химической контаминации были проанализированы образцы упаковочного материала TetraBrik®Aseptic, подвергнутые обработке раствором пероксида водорода (35 % о.в.) с добавлением 0,1 % НПАВ-полисорбата (полиоксиэтилен сорбитан моноолеата).

Неформованное плоское полотно упаковочного материала TetraBrik®Aseptic было подвергнуто обеззаражи-

¹ Равдель А., Пономарева А. (1983). *Краткий справочник физико-химических величин* (изд. 8, с. 20–21). Л: Химия.

Диаграмма 1

Смачиваемость субстратов



Примечание. Смачиваемость субстратов (стекло, нержавеющая сталь, упаковочный материал) растворами пероксида водорода с различным содержанием НПАВ-полисорбата (при $t = 22 \pm 1^\circ\text{C}$)

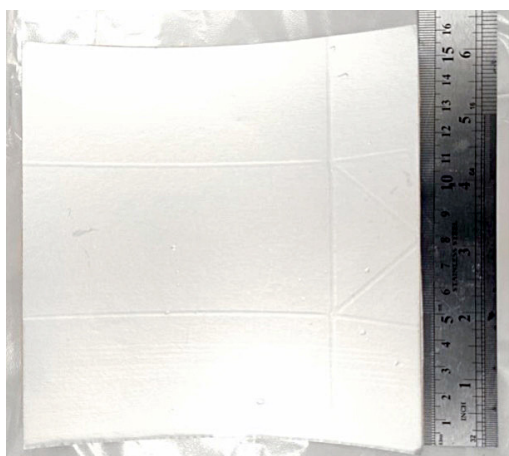
ванию раствором пероксида водорода в концентрации ~35 % о.в. при температуре 60–70°C в течение ~7 секунд. В раствор пероксида водорода в качестве функциональной добавки, улучшающей смачиваемость, был введен 0,1 % НПАВ-полисорбата. После химической обработки осуществлялся обдув горячим воздухом и формировалась упаковка в виде пакета.

После обработки упаковка была разделена на 4 равные части размером 15,5 × 13,5 см (см. Рисунок 3А). Далее каждая из частей была измельчена и помещена в четыре стерильные пробирки емкостью 50 см³ (см. Рисунок 3 Б).

После чего была проведена экстракция аналита (раствора ПВ с НПАВ) посредством добавления 20 см³ аце-

Рисунок 3

Подготовка обеззараженного упаковочного материала к анализу



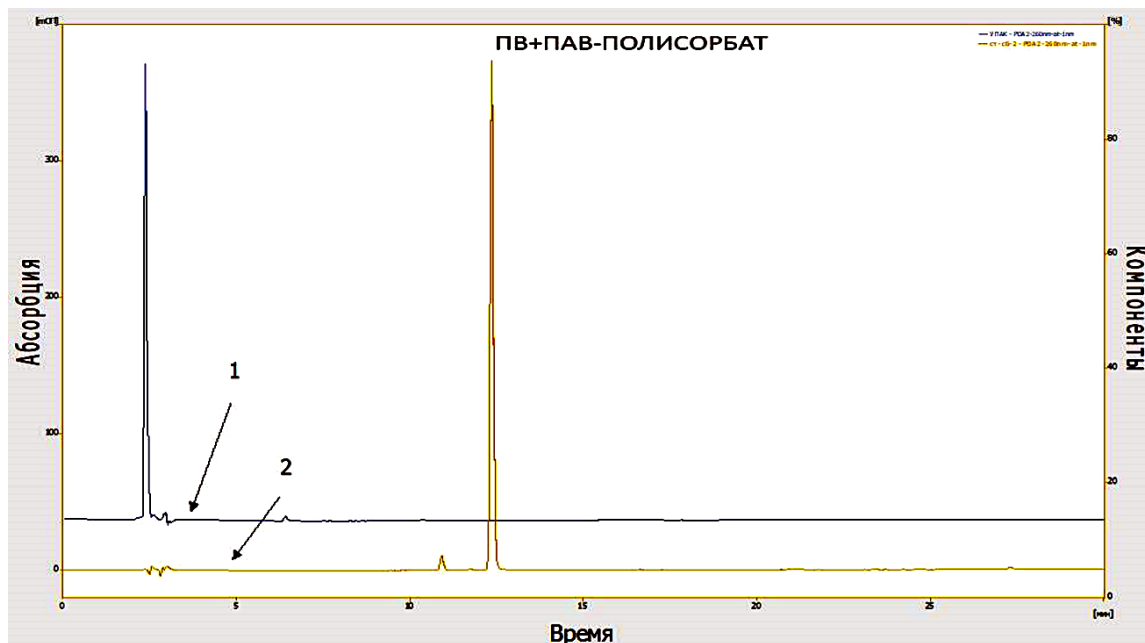
А



Б

Рисунок 4

Результат хроматографического анализа



Примечания. 1 — хроматограмма анализируемого экстракта; 2 — хроматограмма раствора пероксида водорода с ПАВ-полисорбатом

татного буфера pH = 4,3 ед. Экстракция проводилась последовательно одним и тем же раствором. Далее полученный раствор анализировали методом ВЭЖХ. Результаты хроматографического анализа приведены на Рисунке 4.

Согласно полученным результатам, содержание ПАВ-полисорбата в анализируемом растворе ниже предела обнаружения методики и составляет менее 0,05 мг/дм³. На основании этих данных можно сделать заключение о том, что введение 0,1 % ПАВ-полисорбата в раствор пероксида водорода (~35 % о.в.) не выступит в роли химического загрязнителя и не окажет негативного влияния на качество выпускаемой молочной продукции.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать заключение о том, что упаковочный материал Tetra Brik® Aseptic обладает выраженными лиофобными свойствами. Введение в раствор пероксида водорода (~35 % о.в.) 0,1 % ПАВ-полисорбата позволило снизить краевой угол смачивания более чем на 50 %, с 93,75° до 40,99°, существенно снизить показатель поверхностного на-

тяжения на (45–48 %) и сделать заключение, что эта функциональная добавка не выступит в роли химического загрязнителя и не окажет негативного влияния на качество выпускаемой молочной продукции. Режимы применения данного функционального компонента в условиях асептического розлива с позиций эффективности обеззараживания упаковочного материала и безопасности, связанной с удалением его остаточных количеств, позволяют рассматривать его как потенциальное технологическое вспомогательное вещество на молочных предприятиях.

В дальнейших исследованиях планируется изучить стабильность исследуемых образцов (НПАВ+H₂O₂), а также возможность снижения концентрации пероксида водорода без потери эффективности.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

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

Жижин Николай Анатольевич: проведение исследования, работа с программным обеспечением, визуализация.

Бурыкина Елена Александровна: написание — подготовка черновика рукописи.

Титов Евгений Николаевич: написание-рецензирование и редактирование рукописи, визуализация.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Аристов А., Носова Е., & Солдатов А. (2016). Применение метода фотометрии лежащих капель для задач клинической лабораторной диагностики. *Медицинская техника*, 5, 19–22. <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/37409>
- Aristov A., Nosova E., & Soldatov A. (2016). Application of the method of photometry of sessile drops for clinical laboratory diagnostics tasks. *Medical Technique*, 5, 19–22. (In Russ.) <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/37409>
- Директор Л., Зайченко В., & Майков И. (2010). Усовершенствованный метод лежащей капли для определения поверхностного натяжения жидкостей. *Теплофизика высоких температур*, 48(2), 193–197. <http://dx.doi.org/10.1134/S0018151X10020069>
- Direktor L., Zaychenko V., & Maykov I. (2010). Improved method of sessile drop for determining the surface tension of liquids. *High Temperature Thermophysics*, 48(2), 193–197. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.1134/S0018151X10020069>
- Маневич, Б. (2023). Актуальность удаления остаточных количеств кислорода-активных дезинфицирующих средств с контактных поверхностей молочного оборудования. *Пищевая промышленность*, 2, 40–43. <http://dx.doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.009>
- Manevich, B. (2023). The relevance of removing residual amounts of oxygen-active disinfectants from contact surfaces of dairy equipment. *Food Industry*, 2, 40–43. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.009>
- Маневич, Б., Кузина Ж., & Косьяненко Т. (2018). Безопасное использование высокоэффективных дезинфицирующих средств на пищевых предприятиях. XII Международная научно-практическая конференция «Безопасность и качество товаров» (с. 218–230). Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова.
- Manevich, B., Kuzina Zh., & Kosyanenko T. (2018). Safe use of highly effective disinfectants at food enterprises. XII International Scientific and Practical Conference «Safety and Quality of Goods» (pp. 218–230). Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. (In Russ.)
- Маневич, Б., Кузина Ж., & Косьяненко Т. (2020). Значение шероховатости контактной поверхности при производстве функциональных продуктов на молочной основе оборудования. *Молочная промышленность*, 11, 54–56. <http://dx.doi.org/10.31515/1019-8946-2020-11-54-56>
- Manevich, B., Kuzina Zh., & Kosyanenko T. (2020). The importance of surface roughness in the production of functional dairy-based products. *Dairy Industry*, 11, 54–56. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.31515/1019-8946-2020-11-54-56>
- Маневич, Б., Кузина Ж., & Косьяненко Т. (2018). Эффективная и безопасная дезинфекция — гарантия качества молочной продукции. *Контроль качества продукции*, 5, 58–61.
- Manevich, B., Kuzina Zh., & Kosyanenko T. (2018). Effective and safe disinfection — a guarantee of the quality of dairy products. *Quality Control of Products*, 5, 58–61. (In Russ.)
- Мяленко, Д. (2020). Влияние термического, радиационно-химического и фотометрического воздействия на деструкцию и «старение» полимерных материалов. *Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством*, 1(1), 406–411. <http://dx.doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-406-411>
- Myalenko, D. (2020). The effect of thermal, radiation-chemical, and photometric impact on the destruction and «aging» of polymeric materials. *Current Issues of the Dairy Industry, Intersectoral Technologies, and Quality Management Systems*, 1(1), 406–411. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-406-411>
- Федотова, О., Мяленко, Д. (2006). Способы обеззараживания упаковочных материалов и тары при асептическом розливе молочной продукции. *Сборник материалов научных чтений с международным участием, посвященных 100-летию со дня рождения профессора П. Ф. Дьяченко*

- (с. 147–150). Московский государственный университет печати (МГУП).
- Fedotova, O., Myalenko, D. (2006). Methods of disinfecting packaging materials and containers during aseptic filling of dairy products. *Collection of materials from scientific readings with international participation, dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor P.F. Dyachenko* (pp. 147–150). Moscow State University of Printing Arts (MGUP). (In Russ.)
- Федотова, О. (2008). Упаковка для молока и молочных продуктов. *Качество и безопасность*. Россельхозакадемии.
- Fedotova, O. (2008). Packaging for milk and dairy products. *Quality and safety*. Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy. (In Russ.)
- Фильчакова, С. (2008). Микробиологическая чистота упаковки для молочных продуктов. *Молочная промышленность*, 7, 44.
- Filchakova, S. (2008). Microbiological purity of packaging for dairy products. *Dairy Industry*, 7, 44. (In Russ.)
- Хамидуллина, Н., Дешевая, Е., Устинов, С., Захаренко, Д., & Сычев, В. (2020). Основные принципы, требования и методы обеззараживания. *Российский сегмент международной космической экспедиции ЭкзоМарс-2022* (с. 57–163). Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина (Химки).
- Khamidullina, N., Deshevaya, E., Ustinov, S., Zakharinko, D., & Sychev, V. (2020). Fundamental principles, requirements, and methods of disinfection. *Russian segment of the international space expedition ExoMars-2022* (pp. 57–163). S.A. Lavochkin Science and Production Association (Khimki). (In Russ.)
- Abidullah, K., Guohui, X., Chuangang, Y., Amin, K., & Chunmao, H. (2019). Time-dependent bactericidal efficacy of hydrogen peroxide against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and *Acinetobacter baumannii* in second degree burn wound. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 15(4), 11447–11452. <http://dx.doi.org/10.26717/BJSTR.2019.15.002720>
- Chavan, R., Ansari I., & Bhatt S. (2016). Packaging: Aseptic Filling. *Encyclopedia of Food and Health*, 22, 191–198. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00512-2>
- Chiozzi, V., Agriopoulou, S., & Varzakas, T. (2022). Advances, applications, and comparison of thermal (pasteurization, sterilization, and aseptic packaging) against non-thermal (ultrasounds, UV radiation, ozonation, high hydrostatic pressure) technologies in food processing. *Applied Sciences*, 12(4), 2202. <https://doi.org/10.3390/app12042202>
- Deeth, H. (2017). Optimum thermal processing for extended shelf-life (ESL) milk. *Foods*, 6(11), 102. <https://doi.org/10.3390/foods6110102>
- González-Aguilar, G., Ayala-Zavala, J., Chaidez-Quiroz, C., Heredia, J., & Campo, N. (2012). Peroxyacetic acid. Decontamination of fresh and minimally processed produce, 215–223. 1(12) <https://doi.org/10.1002/9781118229187.ch12>
- Hedrick, T. (1973). Aseptic packaging in paperboard container. *Food Technology*, 27(9), 64.
- Jildeh, Z., Kirchner, P., Oberlaender, J., Vahidpour, F., Wagner, P., & Schöning, M. (2020). Development of a package-sterilization process for aseptic filling machines: A numerical approach and validation for surface treatment with hydrogen peroxide. *Sensors and Actuators A: Physical*, 303, 111691. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111691>
- Khadre, M. A., & Yousef, A. E. (2001). Decontamination of a multilaminated aseptic food packaging material and stainless steel by ozone. *Journal of Food Safety*, 21(1), 1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.2001.tb00304.x>
- Nadruz, V., Beard, L. A., Delph-Miller, K. M., Larson, R. L., Bai, J., & Chengappa, M. M. (2023). Efficacy of high-level disinfection of endoscopes contaminated with *Streptococcus equi* subspecies *equi* with 2 different disinfectants. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 37(4), 1561–1567. <https://doi.org/10.1111/jvim.16740>
- Toledo, R.T. (1986). Post processing changes in aseptically packed beverages. *Agricultural and Food Chemistry*, 34(3), 405–408. <https://doi.org/10.1021/jf00069a005>

Характеристики без-/низколактозных кисломолочных продуктов включающих микроорганизмы, входящие в состав консорциума кефирного грибка: обзор предметного поля

Ю. И. Крысанова

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»), г. Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: Исследования, посвященные анализу безлактозных и гиполактозных кисломолочных продуктов представлены преимущественно в контексте изучения конкретных микроорганизмов или заквасочных культур и их функционирования в условиях ограниченного содержания лактозы. При этом синтезирование накопленных данных не получало должного освещения.

Цель: Систематизация и критический анализ научных исследований, освещающих специфику кисломолочных продуктов с редуцированным уровнем лактозы с акцентом на сопоставительное исследование стандартных кисломолочных продуктов и их гиполактозных или безлактозных модификаций. Особое внимание уделяется кисломолочным продуктам, включающим микроорганизмы, входящие в состав консорциума кефирного грибка.

Материалы и методы: Источники для обзора предметного поля подбирались в базах данных Scopus, ScienceDirect, РИНЦ, Google Scholar. Из 208 релевантных с точки зрения ключевых слов публикаций, 34 соответствовали критериям включения. Обзор предметного поля опирается на протокол PRISMA-ScR.

Результаты: Согласно основному массиву исследований по теме, готовые гиполактозные или безлактозные кисломолочные продукты демонстрировали аналогичные или улучшенные физико-химические и органолептические характеристики по сравнению со стандартными кисломолочными продуктами. В экспериментах, направленных на оценку микробиологических характеристик, было зафиксировано, что концентрация молочнокислых бактерий в анализируемых продуктах либо соответствовала, либо была ниже или выше, чем в традиционных кисломолочных продуктах. Все рассмотренные гиполактозные или безлактозные кисломолочные продукты соответствовали стандартам и регулятивным требованиям стран, в которых проводились соответствующие исследования.

Выводы: Формирование гиполактозных и безлактозных кисломолочных продуктов представляет собой актуальное направление в пищевой промышленности, учитывая их схожесть с конвенциональными продуктами и адаптированность для консумации индивидами с различной степенью непереносимости лактозы. Присутствуют нюансы, связанные с длительностью ферментационного процесса, органолептическими характеристиками, уровнем кислотности, синерезисом, сохранностью и динамикой роста микроорганизмов. Эти особенности могут быть обусловлены конкретными штаммами микрофлоры, применяемыми в закваске, и, чаще всего, их влияние остается минимальным. Полученные в ходе данной работы результаты могут оказаться полезными для выбора заквасочных культур при проектировании различных кисломолочных продуктов, включая йогурт, обогащенный йогурт, кефир, айран, ряженку и ацидофилин.

Ключевые слова: безлактозные кисломолочные продукты; низколактозные кисломолочные продукты; безлактозный йогурт; низколактозный йогурт; обзор безлактозных продуктов; глюкозно-галактозная среда

Корреспонденция:

Крысанова Юлия Игоревна,

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»), г. Москва, Люсиновская 35, корп. 7
E-mail: yu_krysanova@vniimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 13.01.2023

Принята: 13.03.2023

Опубликована: 30.09.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Крысанова, Ю.И. (2023). Характеристики кисломолочных продуктов, с пониженным содержанием лактозы включающих микроорганизмы, входящие в состав консорциума кефирного грибка: обзор предметного поля. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 66-80. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.15>

Characteristics of Lactose-Free/Low-Lactose Fermented Dairy Products Containing Microorganisms that are Part of the Kefir Grain Consortium: Scoping Review

Julia I. Krysanova

All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIMI»), Moscow,
Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: Research dedicated to the analysis of lactose-free and low-lactose fermented dairy products is predominantly presented in the context of studying specific microorganisms or starter cultures and their functioning under limited lactose conditions. However, the synthesis of accumulated data has not received adequate coverage.

Purpose: To systematize and critically analyze scientific research that sheds light on the specifics of fermented dairy products with reduced lactose levels, focusing on comparative studies of standard fermented dairy products and their low-lactose or lactose-free modifications. Special attention is given to fermented dairy products incorporating microorganisms that are part of the kefir grain consortium.

Materials and Methods: Sources for the subject field review were selected from databases such as Scopus, ScienceDirect, RISC, and Google Scholar. Out of 208 publications relevant in terms of keywords, 34 met the inclusion criteria. The review of the subject field is based on the PRISMA-ScR protocol.

Results: According to the main body of research on the topic, the finished low-lactose or lactose-free fermented dairy products demonstrated similar or improved physicochemical and organoleptic characteristics compared to standard fermented dairy products. In experiments aimed at assessing microbiological characteristics, it was noted that the concentration of lactic acid bacteria in the analyzed products either matched or was lower or higher than in traditional fermented dairy products. All considered low-lactose or lactose-free fermented dairy products met the standards and regulatory requirements of the countries where the respective studies were conducted.

Conclusion: The development of low-lactose and lactose-free fermented dairy products represents a relevant direction in the food industry, considering their similarity to conventional products and suitability for consumption by individuals with varying degrees of lactose intolerance. There are nuances related to the duration of the fermentation process, organoleptic characteristics, acidity level, syneresis, preservation, and the dynamics of microbial growth. These characteristics may be determined by specific strains of microflora used in the starter culture, and their influence is often minimal. The results obtained in this study may be useful for selecting starter cultures in the design of various fermented dairy products, including yogurt, fortified yogurt, kefir, ayran, ryazhenka, and acidophilus.

Keywords: lactose-free fermented milk products; low-lactose fermented milk products; lactose-free yogurt; low-lactose yogurt; review of lactose-free products; glucose-galactose medium

Correspondence:

Krysanova Julia Igorevna,
All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIMI»),
35 Lyusinovskaya, Building 7,
Moscow, Russian Federation.
E-mail: yu_krysanova@vnimi.org

Conflict of interest:

The author report the absence of a conflict of interest.

Received: 13.01.2023

Accepted: 13.03.2023

Published: 30.09.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Krysanova, J.I. (2023). Characteristics of lactose-free/low-lactose fermented dairy products containing microorganisms that are part of the kefir grain consortium: Scoping review. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 66-79. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.15>

ВВЕДЕНИЕ

Молоко выступает в качестве источника ряда критических нутриентов, включая протеины, минералы, витамины группы В, а также витамин D (Thorning et al., 2016). Ферментированные молочные продукты, в дополнение к вышеуказанным компонентам, обогащены лактобациллами и их метаболитами с пробиотическими и функциональными характеристиками, благоприятно воздействующими на здоровье человека, включая функционирование гастроинтестинального тракта, иммунную и сердечнососудистую системы (Ganatsios et al., 2021; Ali et al., 2022; Бегунова и соавт., 2020). Также, в молоке и его производных присутствует лактоза — молочный дисахарид, который не ассимилируется у индивидуумов с непереносимостью лактозы. Следовательно, молоко и ферментированные молочные изделия представляют собой ключевые элементы пищевой цепи человека, будучи уникальными источниками определенных нутриентов, однако содержащаяся в них лактоза может ограничивать их потребление для определенной части населения.

Доля населения с лактазной недостаточностью в мире значительно варьируется от региона. Silanikove и соавторы (2015) зафиксировали, что в Нидерландах непереносимостью лактозы страдает 1 % населения, тогда как среди жителей Юго-Восточной Азии, Китая, а также коренных народов Америки данной проблеме подвержены 98–100 % людей. В России лактазная недостаточность характерна в среднем для 30–50 % населения (Бельмер и др. 2005). По данным соцопроса, проведенного в США, до 75 % опрошенных отказываются полностью от употребления не только молока, но и молочных продуктов (Dekker, Koenders, и Bruins 2019). И хотя кисломолочные продукты содержат меньше лактозы, чем молоко, ее содержание в них все еще достаточно высокое, чтобы привести к возникновению симптомов заболевания, и, как следствие, отказу от них. Очевидно, что создание низко-/ безлактозных аналогов является способом предоставить возможность употреблять молочные продукты людям с непереносимостью лактозы.

Растущее в последние годы внимание к проблеме лактазной недостаточности у населения усиливает потребительский и научный интерес к молочным продуктам с пониженным содержанием лактозы, в том

числе и к кисломолочным. По прогнозам Euromonitor в период с 2017 по 2022 гг., прирост доли безлактозной продукции на мировом рынке оценивался в 7,3 %, что в 3 раза выше, чем прирост доли рынка обычной молочной продукции за тот же период¹.

В России кефир является одним из самых распространенных кисломолочных продуктов (Николаева, 2018). Кефир представляет собой продукт брожения молока с применением кефирного гриба, в состав которого входит около 50 видов микроорганизмов (Khokhlacheva et al., 2015). В состав указанных микроорганизмов входят и молочнокислые бактерии, которые служат основой многих заквасок других кисломолочных продуктов, а их источником питания в молоке выступает лактоза. Таким образом, актуальной задачей для разработки низко-/безлактозного кефира является определение особенностей роста микроорганизмов, входящих в состав кефирного гриба при культивировании его на низко-/безлактозном сырье.

В период с 2012 по 2022 годы в базе данных Scopus анализируемой проблематике посвящено 52 публикации, в то время как за предыдущие 30 лет — лишь 25 статей. Основной акцент исследователи сделали на йогурт, сыр и национальных кисломолочных продуктах. Schmidt и соавторы (2016) продемонстрировали эффект от добавления стартовых культур в низколактозное сырье на органолептические и реологические свойства готового йогурта. Результаты мало чем отличались от традиционного продукта, в частности реологические свойства безлактозного йогурта превосходили таковые у йогурта обычного. Данные выводы подтверждаются и исследованием Kárnyáczki и Csanádi (2017).

Однако в упомянутых выше исследованиях ученые не производили оценку живых клеток в готовом продукте. Oh и соавторы (2021) провели данную оценку и доказали жизнеспособность микроорганизмов при культивировании на безлактозном молоке. Yamamoto и соавторы (2021) продемонстрировали взаимовыгодные отношения *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus*, микроорганизмов, входящих в состав закваски для йогурта, при совместном культивировании в безлактозном сырье. Kocabaş и соавторы (2022) в качестве объекта исследования использовали айран на основе безлактозного молока, подтвердив выводы предыдущих

¹ Baroke, S. (2016). Does Lactose-free dairy have a future? Euromonitor International [Blog]. <https://www.euromonitor.com/article/does-lactose-free-dairy-have-a-future>

Ю. И. Крысанова

работ по соотношению качества готового продукта и содержания в нем живых клеток исходной культуры. Отсюда, исследования роста культур, входящих в состав йогурта и других традиционных кисломолочных продуктов указывают на то, что без-/низколактозные кисломолочные продукты имеют потенциально сходные свойства с традиционными аналогами.

Исследований по кефиру обнаруживается достаточно мало. В базе данных Scopus за последние 10 лет удалось обнаружить всего 6 работ, посвященных без-/низколактозному кефиру (Khokhlacheva et al., 2015; Ohlsson et al., 2017; Pekcici et al., 2021; Wawrzyniak et al., 2019; Yang et al., 2014; Cannavale et al., 2022). И лишь одна из указанных публикаций посвящена непосредственно исследованию характеристик кефира, приготовленного на безлактозном молоке (Khokhlacheva et al., 2015). Относительно небольшое количество работ по теме объясняется тем, что употребление кефира распространено лишь в отдельных странах мира, тогда как в Европе и Северной Америке данный продукт не пользуется широким спросом. Нам не удалось обнаружить ни одного систематического обзора или обзора предметного поля по исследуемой тематике как в базах данных Scopus, ScienceDirect, и РИНЦ, так и в базе данных Google Scholar.

Целью данного обзора предметного поля является сбор и анализ имеющейся научной литературы для выявления особенностей и отличий без-/низколактозных кисломолочных продуктов, включающих микроорганизмы, входящие в состав консорциума кефирного грибка, от таковых, выработанных на обычном молоке

по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Протокол и заявление о прозрачности исследования

Представленный обзор предметного поля выполнен с использованием протокола PRISMA-ScR. Протокол был зарегистрирован в Open Science Framework (<https://osf.io/rehd2>). Автор подтверждает, что данная рукопись представляет собой прозрачный, точный и честный отчет о проведенном исследовании.

Критерии отбора

В обзор предметного поля включены исследовательские статьи и труды конференций, подходящие под критерии отбора. Анализировались статьи на всех языках и из любых регионов. Критерии отбора в соответствии с РСС (Population, Concept, Context) подходом (Таблица 1).

Решение о включении или исключении публикации в обзор предметного поля принималось автором на основе представленных критериев. Также дополнительным критерием являлось наличие доступа к полному тексту статьи. В случае отсутствия такого доступа, полный текст работы запрашивался у авторов, если авторы работ не предоставляли доступ к тексту, то работа исключалась из обзора.

Таблица 1

Критерии отбора источников

Критерий	Включено	Исключено	Причины
Популяция	Молочнокислые бактерии (МКБ) и молочные дрожжи, входящие в состав консорциума кефирного гриба.	Микроорганизмы, не входящие в состав заквасочных культур, не использующиеся в молочной промышленности. Исследования, не затрагивающие развитие микроорганизмов, т. е. где фокус не направлен на оценку органолептического и микробиологического профиля.	Фокус исследования направлен на изучение роста микроорганизмов, используемых для изготовления кисломолочных продуктов.
Концепция	Исследования, направленные на изучение особенностей роста кефирного гриба на безлактозной или низколактозной среде. Ресурсы, изучающие рост заквасочных культур, аналогичных кефирному грибу или включающих в свой состав микроорганизмы, входящие в состав консорциума кефирного гриба на безлактозной или низколактозной среде.	Исследования, направленные на изучение влияния β-галактозидазной активности МКБ на концентрацию лактозы в готовом продукте. Работы, фокусирующиеся на микроорганизмах, не входящих в состав консорциума кефирного гриба. Исследования, направленные только на изучение ферментативной активности или подбора фермента для дальнейшей разработки продукта.	Целью данного исследования является прояснение вопросов о культивировании заквасочных культур на нетипичной среде (без-/низколактозном молоке) для способствования дальнейшим исследованиям по разработке без-/низколактозных кисломолочных продуктов.

Окончание Таблицы 1

Критерий	Включено	Исключено	Причины
Контекст	Исследования, направленные на изучение продуктов молочной промышленности.	Исследования, направленные на изучение продуктов других отраслей. Работы о продуктах, изготовленных на немолочном сырье ("альтернативном молоке").	Исследование сфокусировано на изучении работ, посвященных продуктам молочной промышленности.
Язык	Любой	Нет ограничений	В связи с широким разнообразием традиционных (специфических для отдельных стран) кисломолочных продуктов, будут рассмотрены статьи на всех языках.
Временной период	по июль 2022 года	после июля 2022 года	Статьи не были ограничены по временному периоду в прошлом, так как в литературных источниках не обнаруживаются опубликованные обзоры по данной теме.
География	Любые страны	Нет ограничений	Лактазная недостаточность встречается в популяциях подавляющего большинства регионов мира.

Стратегия поиска

Поиск производился в базах данных Scopus, ScienceDirect, Google Scholar и РИНЦ. Для поиска в базах данных Scopus и ScienceDirect автор использовал поисковые запросы по ключевым словам: "low lactose", "lactose free", «yoghurt», "yogurt", "yoghourt", "fermented dairy", "kefir", "lactose reduced", "lactose hydrolyzed", "lactic acid bacteria" с опорой на операторы поиска AND, OR. В контексте поискового запроса использовались фильтры — исключить публикации из следующих предметных областей "Физика и астрономия", "Уход за больными", "Социальные и гуманитарные науки", "Науки о Земле", "Фармацевтика, токсикология и фармакология".

В Google Scholar поиск производился по запросу ("lactose free" OR "low lactose" OR "lactose reduced") + (kefir OR yogurt OR yoghurt OR ayran OR "fermented dairy" OR production OR "starter culture" OR "lactic acid bacteria"). В базы данных РИНЦ был произведен поиск с помощью по запросу: (безлактозный OR низколактозный) AND "кисломолочный продукт" OR "кефир" OR "йогурт" OR "кисломолочный".

Процесс отбора

Полученные результаты поиска анализировались и отбирались в соответствии с протоколом PRISMA-ScR. На первом этапе исследования список публикаций, а также информация о них были выгружена в формате .ris и загружены в менеджер ссылок "Zotero", полные тексты статей были подзагружены в формате .pdf. Далее, список публи-

каций в "Zotero" был проверен на наличие дубликатов. Обнаруженные дубликаты были исключены. После исключения дубликатов, статьи подвергались скринингу на соответствие критериям отбора в два этапа. Сначала анализ реализовывался по названию и аннотации, а затем по полному тексту. Все прошедшие отбор публикации далее были включены в обзор предметного поля.

Извлечение и анализ данных

Из отобранных работ была извлечена следующая информация: имена авторов и информация о странах происхождения, цель и дизайн исследования, выводы, год публикации. Все включенные в обзор источники были обработаны в программном обеспечении "VOSviewer" для наглядного представления частотности встречаемости ключевых слов. Результаты табулирования данных представлены в **Приложении 1**.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты поиска и процесс отбора

Из баз данных Scopus, ScienceDirect, РИНЦ по первичному поисковому запросу были отобраны 135 потенциально приемлемых источника. По результатам поиска в Google Scholar было отобрано еще 73 публикации. Среди этих публикаций до начала скрининга было исключено 19 публикаций: 7 — из за отсутствия доступа к полному тексту после запроса у авторов или по причине того, 12 — из за жанра публикации (труды конференций не вклю-

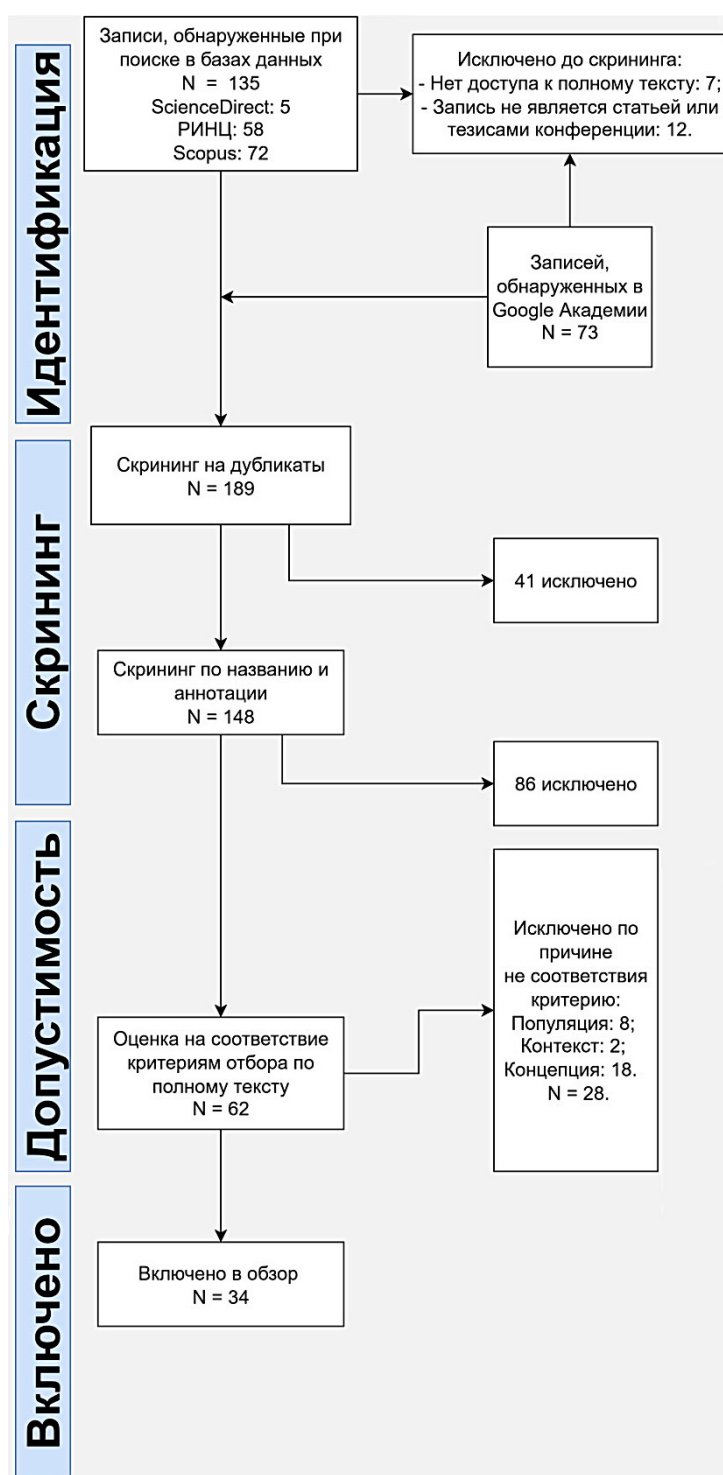
чались в обзор). Скринингу было подвергнуто 189 работ, 41 из которых были исключены как дублирующие.

После анализа названий и аннотаций было исключено еще 86 исследований. В ходе дальнейшего скрининга полного текста статей, из 62 оставшихся статей было

исключено еще 28. Среди них по причине не соответствия по критерию популяция было исключено 8 работ, критерию контекста — 2 работы, критерию концепции — 18 работ. Всего в обзор предметного поля было включено 34 исследования (Диаграмма 1).

Диаграмма 1

Процесс отбора статей для обзора предметного поля по PRISMA-ScR



Извлечение и анализ данных

Информация об отобранных работах была выгружена из программного обеспечения “Zotero” в виде файлов в формате .ris. Полученный пул был загружен в программу “VOSViewer”. С помощью этой программы из 32 работ было извлечено 153 ключевых слова, из которых для графического представления было отобрано 18 ключевых слов, встречающихся в анализируемых статьях более 2 раз (см. Рисунок 1–3).

Полученные с помощью VOSViewer данные показывают, что наиболее частотными встречающимися ключевыми словами в отобранных работах являются: “sugars”, затем “hydrolysis”, “probiotics” и “dairy products”. При этом ключевые слова можно разбить на две категории: группа ключевых слов, связанных с микробиологическим составом и процессом сквашивания молока, и группа ключевых слов, связанная с составом продуктов. Отобранные для анализа источники также можно условно поделить на две группы: (1) статьи, где исследователи делают упор на оценку физико-химических и/или орга-

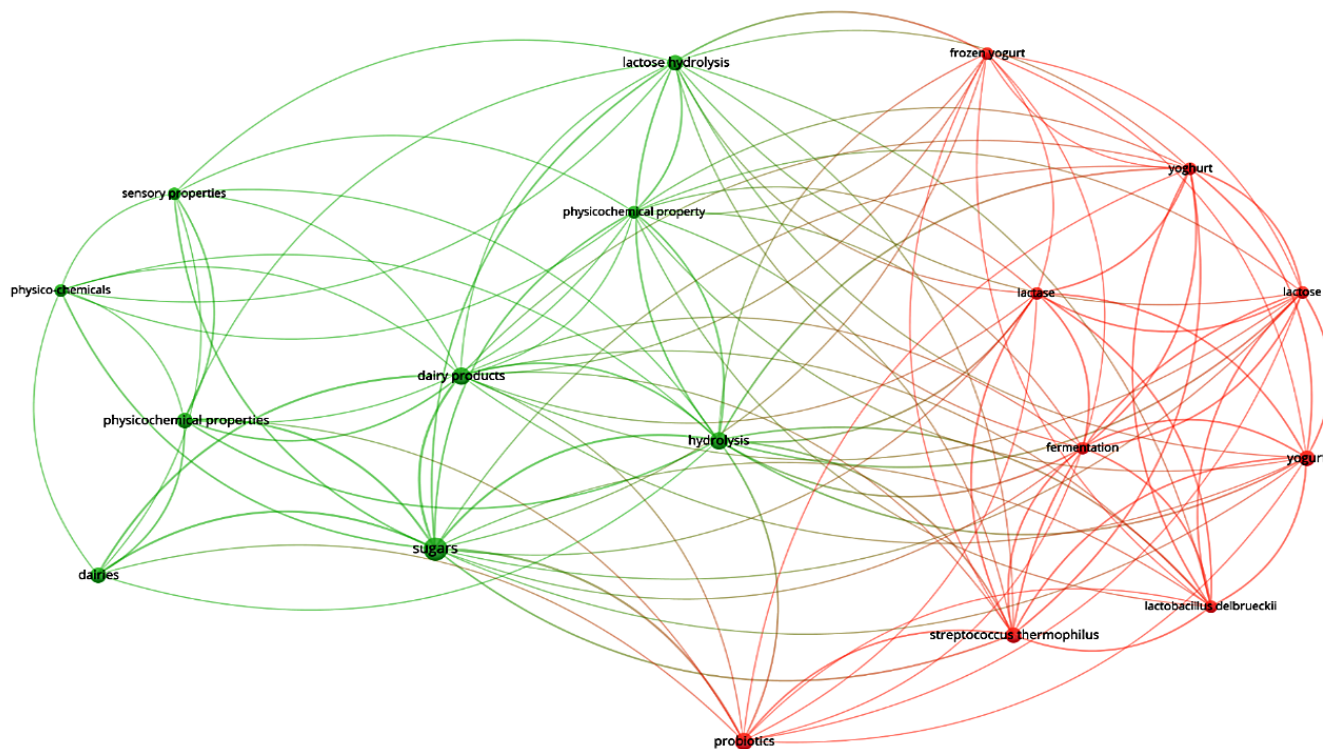
нолептических свойств продукта, вторая — статьи, где упор сделан на микробиологическую оценку и процесс изготовления и хранения продукта.

Из отобранных работ данные об авторах, годах издания, стране происхождения, наличии данных о физико-химических, органолептических и микробиологических свойствах продукта (если таковые имелись), а также ключевых выводах были извлечены в таблицу (см. Приложение 1). Большинство отобранных публикаций являлись исследовательскими работами. Отобранные исследования были опубликованы в период с 1979 по 2022 год, из них 85,3 % статей было опубликовано в последние 10 лет. Наибольшее количество работ было опубликовано в 2021 году — 17,6 %.

В исследованиях принимали участие авторы из 21 страны. Наиболее активны исследователи из Южной Америки (Бразилия, Аргентина, Чили) и стран бывшего СНГ (Россия, Молдова, Украина): доля статей из этих регионов составляла по 29,4 %, затем по числу публикаций следовали страны Азии (Турция, Пакистан, Ю. Корея, Ки-

Рисунок 1

Частота встречаемости ключевых слов



Примечание. Размер точки определяется частотой встречаемости (чем больше, тем чаще). Цветом и линиями показаны связи между ключевыми словами в исследованиях

Ю. И. Крысанова

Рисунок 2

Частота встречаемости ключевых слов по годам

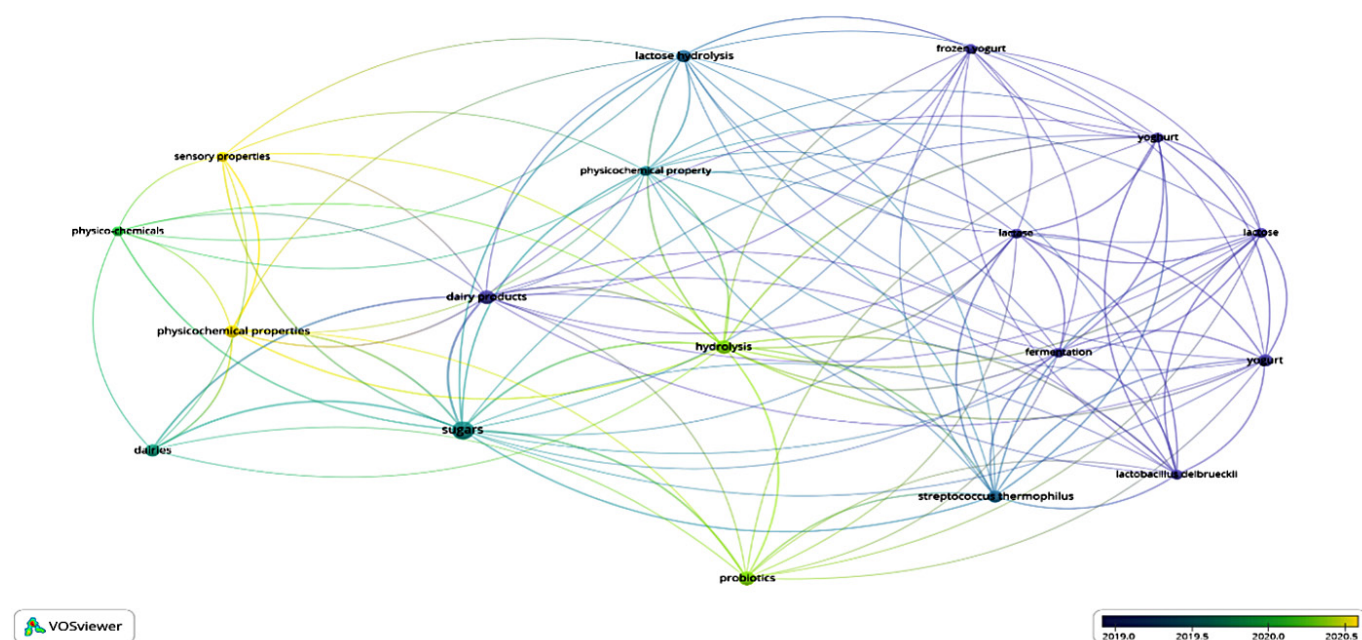
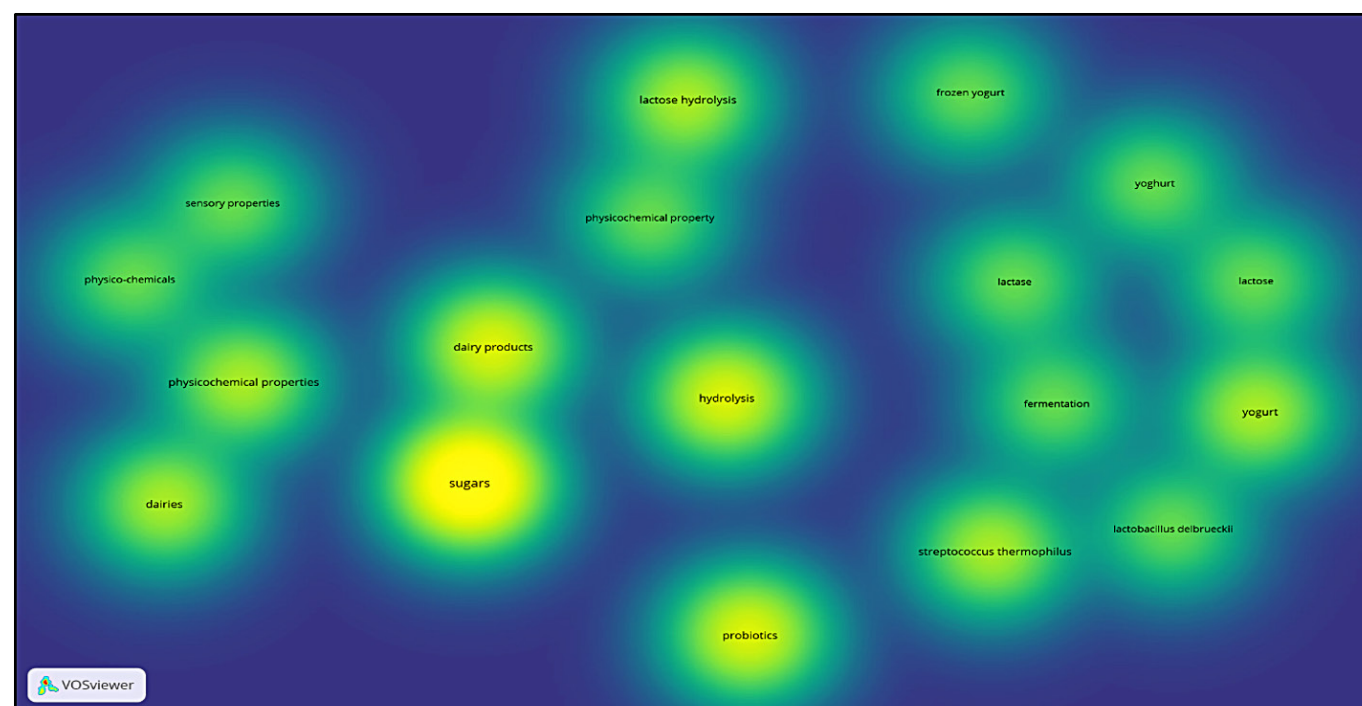


Рисунок 3

Карта встречаемости ключевых слов



Примечание. Встречаемость ключевых слов показана яркостью и размером круга

тай, Япония, Тайланд) — 23,5 %. Топ 3 : Россия — 23,5 %, Бразилия — 17,6 %, Аргентина — 8,8 %. Большинство рассмотренных публикаций написаны на английском языке (70,6 %), значительная часть на русском (23,5 %), а также по одной статье на корейском (2,95 %) и китайском (2,95 %) языках.

Органолептические и физико-химические свойства изучаемых без-/низколактозных кисломолочных продуктов

В отобранных работах исследователи указывали на имеющиеся отличия физико-химических свойств без-/низколактозных продуктов по сравнению с традиционными аналогами. В 6 публикациях (Kocabaş et al., 2022; Martins et al., 2012; Pachekrepapol et al., 2021; Raza et al., 2018; Schmidt et al., 2016; Capcanari et al., 2021) отмечались различия в синерезисе. Различия в кислотности продуктов отмечались также в 6 работах (Канев и соавт., 2021; Skryplonek et al., 2017; Claudia I Vénica et al., 2015; Yamamoto et al., 2021; Capcanari et al., 2021; Lingyun et al., 2019). Сведения об изменениях во времени ферментации без-/низколактозных продуктов были не однозначными, сообщалось как об увеличении (Bianchini et al., 2020; Ibarra et al., 2012; Kárnyáczki & Csanádi, 2017; Yamamoto et al., 2021; Vénica et al., 2014), так и о снижении (Kocabaş et al., 2022; Pachekrepapol et al., 2021; Schmidt et al., 2016) времени, требующегося на снижение pH до необходимой точки. Изменения вязкости у без-/низколактозных кисломолочных продуктов по сравнению с традиционными зарегистрировано в 8 исследованиях (Kocabaş et al., 2022; Martins et al., 2012; Schmidt et al., 2016; Skryplonek et al., 2017; Yamamoto et al., 2021; Lingyun et al., 2019; Tonguç & Karagözlü, 2017; Kárnyáczki & Csanádi, 2017). Органолептические характеристики без-/низколактозных продуктов были оценены в 7 работах. В 6 из них, исследователями отмечалась повышенная сладость продукта (Арсеньева, 2010; Kárnyáczki & Csanádi, 2017; Kocabaş et al., 2022; Skryplonek et al., 2017; Zagorska et al., 2020; Souza Olegario et al., 2022). В 1 работе отмечен, напротив, более кислый вкус изучаемого без-/низколактозного продукта (Lingyun et al., 2019). Полученные нами данные говорят о том, что физико-химические и органолептические характеристики подвержены изменению при использовании глюкозно-галактозной среды для приготовления кисломолочных продуктов, при этом сведения об изменениях неоднозначны практически по всем представленным свойствам.

Наиболее часто в отобранных работах встречались сообщения о повышении вязкости без-/низколактозного кисломолочного продукта по сравнению с продуктами, приготовленными на обычном молоке. В работах Kárnyáczki & Csanádi, 2017; Tonguç & Karagözlü, 2017; Yamamoto et al., 2021; Lingyun et al., 2019 отмечается, что вязкость безлактозного или низколактозного продукта была выше, чем у традиционного аналога, и лишь в двух исследованиях (Martins et al., 2012; Schmidt et al., 2016) указывается на более низкие значения вязкости без-/низколактозного варианта. Однако, Schmidt et al. (2016), сравнившие нескольких видов заквасок, отметили, что вязкость полученного йогурта сильно зависит от штаммов микроорганизмов, входящих в закваску.

Все работы, приведенные выше, описывают приготовление безлактозного йогурта. Что касается других кисломолочных продуктов, имеющиеся данные показывают, что при приготовлении айрана, гидролиз молока приводит к уменьшению вязкости (Kocabaş et al., 2022), для кефира, субстрат не играет значимой роли (Khokhlacheva et al., 2015), а для замороженных йогуртов, использование безлактозного сырья приводит к повышению вязкости готового продукта (Skryplonek et al., 2017; 2019).

Время ферментации, то есть необходимое время до получения продукта с целевой кислотностью, также зависело от степени гидролиза лактозы в молоке. В 5 исследованиях (Bianchini et al., 2020; Ibarra et al., 2012; Kárnyáczki & Csanádi, 2017; Yamamoto et al., 2021; Vénica et al., 2014) отмечается, что время ферментации увеличивается при использовании гидролизованного молока. В то время как в работах Kocabaş et al. (2022), Pachekrepapol et al. (2021), Schmidt et al. (2016) сообщается о том, что, напротив, использование гидролизованного молока сокращает время ферментации. При этом, в исследовании Kocabaş et al. (2022), в отличие от остальных проанализированных, исследовался айран, а не йогурт, а в статье Schmidt et al. (2016) отмечается, что наиболее короткое время ферментации достигается при использовании метода "ко-гидролиза", то есть одновременном добавлении в молоко как закваски, так и фермента бета-галактозидазы.

В проанализированных статьях чаще упоминалось об усилении синерезиса или об отсутствии изменений у кисломолочных продуктов с пониженным содержанием лактозы. В 2 исследованиях (Kocabaş et al., 2022; Martins et al., 2012) демонстрировалось усиление отделения сыворотки у безлактозных продуктов. В этих работах

изучались айран и йогурт, обогащенный ацидофильной палочкой и бифидобактериями, соответственно. Martins et al. (2012) связывают свои результаты с уменьшением числа экзополисахаридов в безлактозном продукте, что ведет к меньшей стабильности продукта, а Kocabaş et al. (2022) предполагают, что увеличенное количество растворенных сахаров и дестабилизированного казеина в безлактозном айране приводит к ослаблению прочности геля. В 2 работах (Pachekreapol et al., 2021; Schmidt et al., 2016) отмечалось, что степень гидролиза лактозы не влияла на синергизм готового продукта. Лишь в одной публикации (Carpanari et al., 2021) упоминалось, что синергизм у безлактозного продукта ослаблен.

Большинство изученных исследований, в которых оценивались органолептические свойства без-/низколактозных кисломолочных продуктов, свидетельствовали об усилении сладости этих продуктов по сравнению с традиционными аналогами. В 5 работах (Арсеньева, 2010; Kárnyáczki & Csanádi, 2017; Kocabaş et al., 2022; Skryplonek et al., 2017; Zagorska et al., 2020) безлактозный продукт описывается как более сладкий по сравнению с традиционным. Souza Olegario et al. (2022) отметили отсутствие кислинки во вкусе безлактозного продукта. Эта широко известная особенность безлактозных продуктов (Dekker et al., 2019) связана с увеличенным содержанием глюкозы в гидролизованном молоке. Только Lingyun et al. (2019) вкус безлактозного йогурта описывает как более кислый по сравнению с йогуртом на негидролизованном молоке (при этом более кислый вкус развивался только после 21-дневного хранения, что авторы исследования связывают с более активным ростом молочнокислых палочек).

Микробиологические характеристики изучаемых без-/низколактозных кисломолочных продуктов

Микробиологические характеристики полученных без-/низколактозных кисломолочных продуктов были представлены не во всех отобранных работах, в основном, такая информация была представлена в более свежих работах. Всего данные о микробиологическом составе содержали 11 исследований. В 5 работах (Горлова и соавт., 2021; Kocabaş et al., 2022; Oh et al., 2021; Vénica et al., 2015; Khokhlicheva et al., 2015) сообщалось о том, что количество жизнеспособных клеток в готовом без-/низколактозном кисломолочном продукте не отличалось от такового в контрольных образцах, не подвер-

женных гидролизу. В 4 исследованиях (Ibarra et al., 2012; Pachekreapol, Somboonchai, и Krimjai 2021; Yamamoto и др. 2021; Lingyun et al., 2019) без-/низколактозные продукты обладали более высоким числом жизнеспособных клеток. В 2 статьях (Bianchini et al., 2020; Vénica et al., 2014) отмечались обратные результаты: без-/низколактозные продукты показывали меньшее количество жизнеспособных микроорганизмов по сравнению с традиционными. Важно заметить, что во всех публикациях, где приводились данные о микробиологии полученного продукта, результаты указывали на хорошую жизнеспособность, соответствующую требованиям местной нормативной документации. Yamamoto et al. (2021) описали механизм развития микрофлоры на глюкозо-галактозной среде более подробно. В этом исследовании, описывается механизм адаптации лактозосбраживающих бактерий в новой среде. *St. thermophilus* в монокультуре развивается одинаково как в безлактозном молоке, так и в обычном. *L. bulgaricus* развивается в глюкозо-галактозной среде лучше, чем в лактозной, однако при совместном культивировании в безлактозном молоке, число микроорганизмов как первого, так и второго вида выше. Бактерии, находясь в безлактозной среде вступают во взаимовыгодные отношения, которые приводят к повышению их числа в продукте.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проблемам с усвоением лактозы подвержена значительная часть населения мира. Кисломолочные продукты содержат меньше лактозы, по сравнению с неферментированными молочными продуктами, однако все еще могут вызывать симптомы недомогания у людей с лактазной недостаточностью (Corgneau et al., 2017). В связи с этим, существует необходимость разработки кисломолочных продуктов с пониженным содержанием лактозы и подобные исследования проводятся по всему миру. Цель данного обзора предметного поля являлось выявление особенностей низко-/безлактозных кисломолочных продуктов по микробиологическим, органолептическим и физико-химическим свойствам. Для этого автором была проанализирована существующая литература, описывающая исследования или разработку подобных продуктов.

В процессе поиска было идентифицировано 208 публикаций, относящихся к исследованиям низко-/безлактозных кисломолочных продуктов. Большинство обнаруженных публикаций рассматривают либо саму

проблему лактазной недостаточности, либо производство кисломолочных продуктов на молоке растительного происхождения, либо бета-галактозидазную активность молочнокислых бактерий в молоке. В результате отбора источников было включено 34 статьи, соответствующих цели этого обзора предметного поля. География стран происхождения отобранных статей была достаточно разнообразной. Наиболее часто встречались публикации из стран Южной Америки, России и стран ближнего зарубежья и из стран Азии. Практически не обнаруживаются статьи из стран Северной Америки и Северной Европы.

Полученные нами данные, в целом согласуются с тем, как проблема лактазной недостаточности географически распространена среди населения в мире (Itan et al., 2010; Бельмер и соавт., 2005). Количество публикаций из России и стран бывшего СНГ является наиболее частотным, тогда как проблема лактазной недостаточности в этом регионе распространена не так широко, как, например, в странах Азии. Возможно данное преобладание публикаций объясняется тем, что в обзор были включены статьи из русскоязычной базы данных РИНЦ, тогда как для поиска публикаций из остальных регионов использовались международные базы данных.

Публикации имеют достаточно широкий диапазон и по году издания. Однако просматривается заметный тренд на увеличение количества публикаций с течением времени. Подавляющее большинство отобранных исследований вышло за последние 10 лет, при этом больше трети — 35,3% — за последние 3 года (2019–2022 года). Помимо этого, качество работ также заметно повысилось, многие исследования включают более всестороннюю и полную информацию о полученном продукте. Таким образом, подтверждается растущий интерес среди научного сообщества к исследуемой проблеме.

Во всех проанализированных публикациях сообщалось о том, что без-/низколактозные кисломолочные продукты соответствовали требованиям местной нормативной документации, но имелись отличия от традиционных кисломолочных продуктов. Относительно физико-химических свойств в литературе обнаруживаются достаточно противоречивые данные. Сообщается как об увеличении, так и о снижении вязкости, синерезиса и времени ферментации без-/низколактозного продукта по сравнению с традиционным. Подобные результаты можно объяснить, как тем, что методология исследований не была постоянной между работами, так и особенностями са-

мых кисломолочных продуктов, в частности, различиями в составах заквасочных культур.

Schmidt et al. (2016) сравнили несколько заквасок для йогурта, включающих в себя разные штаммы молочнокислых бактерий, зафиксировав, что физико-химические свойства сильно зависят от штаммового состава культур. По-видимому, различиями штаммов можно объяснить достаточно высокую вариабельность результатов, относительно физико-химических свойств готовых продуктов. Штаммы микроорганизмов имеют разные предпочтения по отношению к источнику углерода. В том случае, если микроорганизмы предпочитают глюкозу и/или галактозу, целевая кислотность достигается быстрее, чем в обычном молоке, если же, напротив, микроорганизмы активнее потребляют лактозу, то в молоке, где лактоза практически отсутствует, время ферментации увеличивается, а в смешанной среде для микроорганизмов доступны оба источника углерода, что также сокращает время ферментации. К такому же выводу приходят и исследователи в вышеупомянутой работе.

Вслед за временем ферментации и другими физико-химическими свойствами меняются и органолептические. Консистенция, вкус и общее восприятие продукта зависят непосредственно от таких параметров как вязкость, кислотность и синерезис продукта. Этим можно объяснить различия данных относительно органолептической оценки. Первоначальная сладость продукта же объясняется повышенным содержанием глюкозы, высвобождающейся при распаде лактозы в процессе ферментативного гидролиза. Результаты работы Lingyun et al. (2019) о растущем в процессе хранения кислом вкусе объясняются большим количеством жизнеспособных клеток в безлактозном продукте. Потребляя глюкозу в значительном количестве они снижали сладость продукта быстрее, чем это происходило в традиционном аналоге, о чем и сообщают исследователи в своей работе.

Микробиологическая оценка присутствовавшая в части отобранных исследований, позволила выявить неоднозначные данные. Yamamoto et al. (2021) подробно исследовали механизм развития микрофлоры на глюкозо-галактозной среде, описав механизм адаптации лактозосбраживающих бактерий в новой среде: *S. thermophilus* в монокультуре развивается одинаково как в безлактозном молоке, так и в обычном. *L. bulgaricus* развивается в глюкозо-галактозной среде лучше, чем в лактозной, однако при совместном культивировании их на безлактозном молоке, число микроорганизмов

как первого, так и второго вида выше. Бактерии, находясь в безлактозной среде вступают во взаимовыгодные отношения, которые приводят к повышению их числа в продукте. Основываясь на результатах этого исследования, можно предположить, что при использовании заквасок с большим числом видов или штаммов, негативные эффекты, связанные с отсутствием лактозы нивелируются за счет симбиоза.

Подобный эффект взаимопомощи может играть роль и в исследовании Khokhlacheva et al. (2015), изучавшем кефирные грибки. Авторами работы была показана схожесть развития видов микроорганизмов при культивировании в обычном молоке и безлактозном. Кефирные грибки содержат как лактозосбраживающие виды бактерий, так и виды не обладающие такой способностью. Однако изменение среды никак не влияет на их количество и функциональную активность. Таким образом, выживаемость лактозосбраживающих бактерий и их аналогичное развитие в среде, не содержащей лактозу вероятно объясняется именно взаимодействием микроорганизмов внутри консорциума.

В зависимости от предпочтений конкретных молочнокислых бактерий, свойства продуктов могут изменяться. При более активном использовании бактериями глюкозы, без-/низколактозный кисломолочный продукт может иметь более низкую кислотность и отличаться по вкусу, а также при хранении кислотность продукта может снижаться быстрее (Lingyun et al., 2019), так как выделение молочной кислоты будет происходить более активно. В то же время, если бактерии предпочитают лактозу в качестве источника углерода, то процесс ферментации идет медленнее (Yamamoto et al., 2021; Schmidt et al., 2016), так как микроорганизмам необходимо время для адаптации. В смешанных же культурах процесс ферментации наименее зависим (Khokhlacheva et al., 2015; Yamamoto et al., 2021) от среды культивации. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что при изготовлении без-/низколактозной кисломолочной продукции предпочтительнее использовать закваски с разнообразным видовым составом. Однако такой вывод нельзя считать окончательным, так как, во-первых, большинство публикаций, рассмотренных в этом обзоре предметного поля фокусируется на йогурте либо йогурте с добавками, такими как *L. acidophilus* или бактериями рода *Bifidobacterium*. Работ, изучающих другие виды молочнокислых бактерий, используемых для приготовления различных кисломолочных продуктов, достаточно мало, а их свойства могут отличаться. Во-вторых, как показано в работе Yamamoto

et al. (2021), метаболизм микроорганизмов может меняться, особенно при со-культивировании, что также необходимо исследовать более подробно. Однако, так или иначе, можно судить о том, что свойства готового кисломолочного продукта с искусственно пониженной концентрацией лактозы сильно зависят от штаммов, входящих в состав закваски. Таким образом, при производстве без-/низколактозных кисломолочных продуктов важно учитывать особенности штаммов и тщательно подходить к выбору закваски, чтобы свойства готового продукта отвечали требованиям регуляторов и потребителей.

Выводы

В целом, кисломолочные продукты с пониженным содержанием лактозы, не имеют критически важных недостатков. Все исследованные в данном обзоре предметного поля работы подтверждают, что полученные кисломолочные продукты имеют удовлетворительные органолептические, физико-химические и микробиологические свойства, отвечающие требованиям нормативной документации. Однако сообщается о некоторых отличиях подобных продуктов, как положительно, так и негативно влияющих на их качество.

Для более полного понимания особенностей без-/низколактозных кисломолочных продуктов в отношении их микробиологии, физико-химических и органолептических свойств, а также механизма их взаимоотношения требуются дополнительные исследования. Так, существующая литература, в основном использует как объект изучения закваски для йогурта, в то время как исследования на других заквасках или кисломолочных продуктах встречаются редко. Несмотря на то, что йогурт является самым популярным кисломолочным продуктом в мире, автору представляется важным разнообразие исследуемых микроорганизмов, так как, судя по существующим данным, свойства и качество получаемых кисломолочных продуктов достаточно сильно зависят от используемых в заквасках штаммов и видов бактерий.

Существует потребность в более глубоком изучении механизмов роста и развития молочнокислых бактерий на глюкозно-галактозной среде. Полученные из таких исследований данные могут объяснить каким образом использование различных заквасок и условий производства влияет на характеристики готового продукта. На текущий момент, такие исследования встречаются редко, в то время как большее число подобных работ могут быть полезными для данной области.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Арсеньева, Т. П. (2010). Исследование и разработка низколактозных кисломолочных напитков лечебно-профилактического назначения. *Процессы и аппараты пищевых производств*, 2.
- Arsenyeva, T. P. (2010). Research and development of low-lactose sour-milk drinks for therapeutic and prophylactic purposes. *Processes and Apparatus of Food Production*, 2. (In Russ.)
- Бегунова, А. В., Савинова, О. С., Рожкова, И. В., Крысанова, Ю. И., & Фёдорова, Т. В. (2020). Оценка пробиотического потенциала и функциональных свойств *Lactobacillus reuteri* LR1 in vitro. *Прикладная биохимия и микробиология*, 56(5). <https://doi.org/10.31857/S0555109920050049>
- Begunova, A. V., Savinova, O. S., Rozhkova, I. V., Krysanova, Yu. I., & Fedorova, T. V. (2020). Evaluation of the probiotic potential and functional properties of *Lactobacillus reuteri* LR1 in vitro. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 56(5). (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0555109920050049>
- Бельмер, С. В., Мухина, Ю. Г., Чубарова, А. И., Гераськина, В. П., & Гасилина, Т. В. (2005). Непереносимость лактозы у детей и взрослых. *Лечащий врач*, 1, 34–38.
- Belmer, S. V., Mukhina, Yu. G., Chubarova, A. I., Geras'kina, V. P., & Gasilina, T. V. (2005). Lactose intolerance in children and adults. *Attending Physician*, 1, 34–38. (In Russ.)
- Голубев, А. Е., Ионова, И. И., & Машков, В. В. (2019). Актуальность расширения низколактозных кисломолочных напитков. *Вестник науки*, 4(13), 137–141.
- Golubev, A. E., Ionova, I. I., & Mashkov, V. V. (2019). The relevance of expanding low-lactose sour-milk drinks. *Science Bulletin*, 4(13), 137–141. (In Russ.)
- Горлова, А. И., Жукова, Е. В., & Пастух, О. Н. (2021). *Использование ферментов Lactozym и Maxilact в технологии низколактозного йогурта* (с. 154–59). РГАУ-МС ХА имени К.А. Тимирязева.
- Gorlova, A. I., Zhukova, E. V., & Pastukh, O. N. (2021). *The use of Lactozym and Maxilact enzymes in the technology of low-lactose yogurt* (pp. 154–59). Timiryazev Russian State Agrarian University. (In Russ.)
- Канаев, М. А., Баймишев, Р. Х. & Канаева, Е. С. (2021). *Применение безлактозного молока при производстве йогурта* (с. 121–25). Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова.
- Kanaev, M. A., Baymishev, R. Kh. & Kanaeva, E. S. (2021). *The use of lactose-free milk in yogurt production* (pp. 121–25). Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov. (In Russ.)
- Николаева, М. А. (2018). Рынок молочных товаров: состояние и перспективы развития. *Food industry*, 3(3), 78–85. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-3-12>
- Nikolaeva, M. A. (2018). The dairy products market: current state and development prospects. *Food Industry*, 3(3), 78–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-3-12>
- Перевалова, Ю. В. (2008). Кисломолочный низколактозный продукт. *Молочная промышленность*, 7.
- Perevalova, Yu. V. (2008). Low-lactose sour-milk product. *Dairy Industry*, 7. (In Russ.)
- Трофимов, И. Е. (2016). Исследование и разработка технологии белково-углеводного кисломолочного продукта для специализированного питания. *Вестник Омского Государственного Аграрного Университета*, 1(21), 235–242.
- Trofimov, I. E. (2016). Research and development of the technology for a protein-carbohydrate sour-milk product for specialized nutrition. *Bulletin of the Omsk State Agrarian University*, 1(21), 235–242. (In Russ.)
- Фаттахова, И. С., Силантьева, Л. А. (2009). Низколактозный кисломолочный пастообразный продукт. *Молочная промышленность*, 7, 54–55.
- Fattakhova, I. S., Silantyeva, L. A. (2009). Low-lactose sour-milk pasty product. *Dairy Industry*, 7, 54–55. Ali, M.A., Kamal, M.M., Rahman, M.H., Nurealam, S., Haque, A., Saha, K. K., Rahman, A. (2022). Functional dairy products as a source of bioactive peptides and probiotics: Current trends and future perspectives. *Journal of Food Science and Technology*, 59(4), 1263–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05091-8>
- Bianchini, C. B., Vieira, M.P.T., Arriola, N.D.A., Dias, C.O., Seraglio, S.K.T., Costa, A.C.O., Komatsu, R.A., Machado, B.D., Amboni, R.D.M.C., & Fritzen-Freire, C.B. (2020). Incorporation of uvaia (*eugenia pyriformis* cambess) pulp in yogurt: A promising application in the lactose-free dairy product market. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14829>
- Capcanari, T., Chirsanova, A., Covaliov, Eu., & Siminiuc, R. (2021). Development of lactose free yogurt technology for personalized nutrition. *Food and Nutrition Sciences*, 12(11), 1116–35. <https://doi.org/10.4236/fns.2021.1211082>
- Corgneau, M., Scher, J., Ritie-Pertusa, L., Le, D. t. I., Petit, J., Nikolova, Y., Banon, S., & Gaiani, C. (2017). Recent advances on lactose intolerance: Tolerance thresholds and currently available answers. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(15), 3344–56. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1123671>
- Dekker, P. J. T., Koenders, D., & Bruins, M. J. (2019). Lactose-Free Dairy Products: Market Developments, Production,

- Nutrition and Health Benefits. *Nutrients*, 11(3), 551. <https://doi.org/10.3390/nu11030551>
- Ganatsios, V., Nigam, P., Plessas, S., & Terpou, A. (2021). Kefir as a functional beverage gaining momentum towards its health promoting attributes. *Beverages*, 7(3), 48. <http://dx.doi.org/10.3390/beverages7030048>
- Garcia, S.L.A., Silva, G.M., Medeiros, J.M.S., Queiroga, A.P.R., Queiroz, B.B., Farias, D.R.B., Correia, J.O., Florentino, E.R., & Alonso Buriti, F.C. (2020). Influence of co-cultures of *Streptococcus Thermophilus* and probiotic lactobacilli on quality and antioxidant capacity parameters of lactose-free fermented dairy beverages containing *Syzygium Cumini* (L.) Skeels pulp. *RSC Advances*, 10(17), 10297–308. <https://doi.org/10.1039/c9ra08311a>
- Ibarra, A., Acha, R., Calleja, M. -T., Chiralt-Boix, A., & Wittig, E. (2012). Optimization and shelf life of a low-lactose yogurt with *Lactobacillus Rhamnosus* HN001. *Journal of Dairy Science*, 95(7), 3536–48. <https://doi.org/10.3168/jds.2011–5050>
- Ismail, A.A., Mogensen, G., & Poulsen, P.R. (1983). Organoleptic and physical properties of yogurt made from lactose hydrolysed milk. *International Journal of Dairy Technology*, 36(2), 52–55. <https://doi.org/10.1111/j.1471–0307.1983.tb02537.x>
- Itan, Y., Jones, B. L., Ingram, C. J., Swallow, D. M., & Thomas, M. G. (2010). A worldwide correlation of lactase persistence phenotype and genotypes. *BMC Evolutionary Biology*, 10, 36. <https://doi.org/10.1186/1471–2148-10-36>
- Jia, L., Hu, Zh., Xue, Lu, Lu, D., Zhao, X., Cheng, K., Yang, X. (2019). Comparison of Lactose-Free and Plain Yoghurt Fermented at Different Temperatures. *Food Science*, 40(23), 79. <https://doi.org/10.7506/spkx1002–6630-20190515–167>
- Kárnyáczki, Z., & Csanádi, J. (2017). Texture profile properties, sensory evaluation, and susceptibility to syneresis of yoghurt prepared from lactose-free milk. *Acta Alimentaria*, 46(4), 403–10. <https://doi.org/10.1556/066.2016.0018>
- Khokhlacheva, A.A., Egorova, M.A., Kalinina, A.N., & Gradova, N. B. (2015). Trophic patterns of functioning and microbial profile of the evolutionally established associated kefir grains culture. *Microbiology*, 84(4), 561–69. <https://doi.org/10.1134/S0026261715040104>
- Kocabaş, H., Firuze E., Tugba A., & Küçükçetin, A. (2022). Effect of lactose hydrolysis and salt content on the physicochemical, microbiological, and sensory properties of Ayran. *International Dairy Journal*, 129, 105360. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105360>
- Kosikowski, F.V. (1979). Low lactose yogurts and milk beverages by ultrafiltration. *Journal of Dairy Science*, 62(1), 41–46. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302\(79\)83198–7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(79)83198–7)
- Martins, A. R., Monteiro, R.L., Burkert, J.F.M., & Burkert, C.A.V. (2012). Hidrólise enzimática e fermentação láctica simultâneas na obtenção de um iogurte com baixo teor de lactose [Simultaneous enzymatic hydrolysis and lactic fermentation to obtain a yogurt with low lactose content]. *Ciencia e Agrotecnologia*, 36(5), 551–59. <https://doi.org/10.1590/S1413–70542012000500008>
- Moreira, T. C., da Silva, A. T., Fagundes, C., Rodrigues Ferreira, S. M., Bileski Cândido, L. M., Passos, M., Hecke Krüger, C. C. (2017). Elaboration of yogurt with reduced level of lactose added of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *LWT — Food Science and Technology*, 76, Part B, 326–329. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.033>
- Odarchenko, D., Spodar, K., Karbivnych, T., & Sokolova, E. (2020). Conducting commodity assessment of lactose free and ordinary (lactose) yoghurts on the example of ukrainian producers. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(3(56), 27–30. <https://doi.org/10.15587/2706–5448.2020.218697>
- Oh, S., Kim, B. K., Chun, Y.-G., & Park, D. J. (2021). Fermentation characteristics of starter cultures in lactose-hydrolyzed milk for the elderly. *Journal of Dairy Science and Biotechnology*, 39(1), 20–26. <https://doi.org/10.22424/jdsb.2021.39.1.20>
- Olegario, L. S., González-Mohino, A., Estévez, M., Madruga, M.S., & Ventanas, S. (2022). Impact of absence of lactose on the dynamic sensory profile of yogurt: A multiple-intake TDS approach. *LWT*, 162, 113430. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113430>
- Pachekrepapol, U., Somboonchai, N., & Krimjai, W. (2021). Physicochemical, rheological, and microbiological properties of lactose-free functional yogurt supplemented with Fructooligosaccharides. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15017>
- Perotti, M. C., Wolf, I. V., Venica, C. I., Bergamini, C. V. (2012). Dairy products modified in their lactose content. *Current Nutrition & Food Science*, 8(1), 8–18. <http://dx.doi.org/10.2174/157340112800269597>
- Pinto, S.S., Fritzen-Freire, C.B., Dias, C.O., & Amboni, R.D.M.C. (2019). A potential technological application of probiotic microcapsules in lactose-free Greek-style yoghurt. *International Dairy Journal*, 97, 131–38. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.05.009>
- Raza, A, Iqbal, S, Ullah, A, Khan, MI, Imran, M. (2018). Enzymatic conversion of milk lactose to prebiotic Galacto-Oligosaccharides to produce low lactose yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(4). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13586>
- Schmidt, C., Mende, S., Jaros, D., & Rohm, H. (2016). Fermented milk products: Effects of lactose hydrolysis and fermentation conditions on the rheological properties. *Dairy Science & Technology*, 96(2), 199–211. <https://doi.org/10.1007/s13594–015-0259–9>
- Silanikove, N., Leitner, G., & Merin, U. (2015). The interrelationships between lactose intolerance and the modern dairy

- industry: Global perspectives in evolutionary and historical backgrounds. *Nutrients*, 7(9), 7312–7331. MDPI . <http://dx.doi.org/10.3390/nu7095340>
- Skryplonek, K., Gomes, D., Viegas, J., Pereira, C., & Henriques, M. (2017). Lactose-free frozen yogurt: Production and characteristics. *Acta scientiarum polonorum. Technologia Alimentaria*, 16(2), 171–179. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.0478>
- Skryplonek, K., Henriques, M., Gomes, D., Viegas, J., Fonseca, C., Pereira, C., Dmytrów, I., & Mituniewicz-Matek, A. (2019). Characteristics of lactose-free frozen yogurt with κ-carrageenan and corn starch as stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7838–7848. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16556>
- Tonguç, I.E., & Karagözlü, C. (2017). Yoghurt drink for lactose and galactose intolerant patients. *Italian Journal of Food Science*, 29(4), 697–706. <https://doi.org/10.14674/IJFS-743>
- Vénica, C. I, Bergamini, C. V., Silvina, R. R., & Perotti, M. C. (2015). Galacto-oligosaccharides formation during manufacture of different varieties of yogurt. Stability through storage. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 198–205. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.032>
- Vénica, Cl. I., Perotti, M. C., & Bergamini, C. V. (2014). Organic acids profiles in lactose-hydrolyzed yogurt with different matrix composition. *Dairy Science & Technology*, 94(6), 561–80. <https://doi.org/10.1007/s13594-014-0180-7>
- Yamamoto, E., Watanabe, R., Ichimura, T., Ishida, T., Kimura, K. (2021). Effect of Lactose Hydrolysis on the milk-fermenting properties of *Lactobacillus Delbrueckii* Ssp. *Bulgaricus* 2038 and *Streptococcus Thermophilus* 1131. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1454–64. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19244>
- Zagorska, J., Ciprovica, I., Straumite, E., & Majore, K. (2020). Acceptance of low-sugar yoghurt among latvian teenagers. *Agronomy Research*, 18 (Special Issue 3), 1897–1905. <https://doi.org/10.15159/AR.20.111>