



FOOD METAENGINEERING

Пищевая Метаинженерия

Volume 1 | Issue 4 | 2023



■ FOOD METAENGINEERING

Научный рецензируемый журнал
№ 4 | 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
Опубликовано: 30.12.2023

■ FOOD METAENGINEERING

Scientific peer-reviewed journal
№ 4 | 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: 30.12.2023

- **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)
- **Попов Василий Николаевич** —
профессор, доктор биологических наук, ректор Воронежского государственного университета инженерных технологий (Воронеж, 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)
- **Vasily N. Popov** —
Professor, Doctor of Biological Sciences, Rector of the Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, 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. Е. Рябова

Стили оформления списка источников в рукописи научной статьи как отражение академической культуры авторского коллектива 7

ОРИГИНАЛЬНОЕ ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

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

Полисахарид-контролируемая кристаллизация лактозы в сгущенном молоке с сахаром 11

Д. М. Мяленко, О. Б. Федотова, А. А. Агарков

Влияние ультрафиолетового излучения на физико-механические и структурные характеристики биоразлагаемого полимерного материала на основе полилактида и поли(бутиленадипат-ко-терефталата) при компостном хранении 28

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

Оптимизация молекулярно-генетического метода идентификации молочного сырья 39

З. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

К вопросу разработки и адаптации прогностической модели полнофакторной оптимизации технологического процесса производства пробиотического кисломолочного продукта 48

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

В.В. Шилов, В.В. Литвяк, Ю.Ф. Росляков

Влияние компонентов пальмового масла на характер обмена веществ в организме человека:
Обзор предметного поля 57

Л. В. Абдуллаева, С. А. Бедретдинова

Аналитическая оценка системы подтверждения соответствия молока и молочной продукции обязательным законодательным требованиям 85

EDITORIAL

Anastasia E. Ryabova

Styles of Source List Formatting in the Manuscript of a Scientific Article as a Reflection of the Academic Culture of the Authorial Team 7

ORIGINAL EMPIRICAL RESEARCH

Irina A. Barkovskaya, Alexander G. Kruchinin, Svetlana N. Turovskaya, Elena E. Illarionova, Ekaterina I. Bolshakova

Polysaccharide-Controlled Lactose Crystallization in Sweetened Condensed Milk 11

Dmitriy M. Myalenko, Olga B. Fedotova, Aleksand A. Agarkov

The Ultraviolet Radiation Influence on the Physical-Mechanical and Structural Characteristics of a Biodegradable Polymeric Material Based on Polylactide and Poly(butylene adipate-co-terephthalate) during Compost Storage 28

Alexei V. Khan, Ekaterina G. Lazareva, Oleg Yu. Fomenko

Optimization of Molecular Genetic Method for Identification of Dairy Raw Materials 39

Zinaida S. Zobkova, Vladimir V. Kondratenko, Natalia S. Pryanichnikova, Daria V. Zenina, Natalia S. Korovina

On the development and adaptation of a predictive model of full-factor optimization of the basic probiotic fermented dairy product technological process 48

REVIEW

Valery V. Shilov, Vladimir V. Litvyak, Yuri F. Roslyakov

Influence of components of palm oil on the character of metabolism in the human body:
A Scoping Review 57

Larisa V. Abdullaeva, Sophia A. Bedretdinova

Analytical assessment of the system for confirming compliance of milk and dairy products
with mandatory legal requirements 85

Стили оформления списка источников в рукописи научной статьи как отражение академической культуры авторского коллектива

А. Е. Рябова

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

АННОТАЦИЯ

Введение: Оформление списка источников рукописи научной статьи является ключевым элементом академической культуры и отражает уровень профессионализма и внимательности авторского коллектива к деталям научной работы.

Цель: Осветить стили оформления списка источников в рукописях научных статей, а также обсудить, как они отражают академические стандарты и культуру авторского коллектива.

Стили оформления списков источников: Проанализированы различные форматы оформления источников в научных статьях из разных областей знаний.

Плагийные практики: Описаны плагийные практики неприемлемые в контексте научной коммуникации.

Выводы: Оформление списка источников представляет собой не только техническую необходимость, но и важный аспект академической этики и культуры. Корректное оформление списков источников способствует усилению прозрачности исследования, облегчает проверку данных и укрепляет доверие в научном сообществе к результатам научно-исследовательской деятельности.

Ключевые слова: оформление списка источников; академическая культура; научные публикации; этика исследований; стили оформления списков источник

Корреспонденция:

Анастасия Евгеньевна Рябова,
E-mail: a_ryabova@vniimi.org

Конфликт интересов:

автор сообщает
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 01.11.2023

Принята: 15.12.2023

Опубликована: 30.12.2023

Copyright: © 2023 Автор



Для цитирования: Рябова, А.Е. (2023). Стили оформления списка источников в рукописи научной статьи как отражение академической культуры авторского коллектива. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 7-10. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.3.4>

<https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.43>

Styles of Source List Formatting in the Manuscript of a Scientific Article as a Reflection of the Academic Culture of the Authorial Team

Anastasia E. Ryabova

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: Formatting the list of sources in a scientific article is a key element of academic culture and reflects the level of professionalism and attention to detail of the authorial team in scientific work.

Purpose: To highlight the styles of formatting source lists in manuscripts of scientific articles and discuss how they reflect academic standards and the culture of the authorial team.

Styles of Source List Formatting: Various formatting formats for sources in scientific articles from different fields of knowledge have been analyzed.

Plagiarism Practices: Unacceptable plagiarism practices in the context of scientific communication have been described.

Conclusion: Formatting the list of sources is not only a technical necessity but also an important aspect of academic ethics and culture. Properly formatting source lists enhances the transparency of research, facilitates data verification, and strengthens trust in the scientific community in the results of scientific research.

Keywords: source list formatting; academic culture; scientific publications; research ethics; source list formatting styles

Correspondence:

E-mail: a_ryabova@vnimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 01.11.2023

Accepted: 15.12.2023

Published: 30.12.2023

Copyright: © 2023 The Author



To cite: Ryabova, A.E. (2023). Styles of source list formatting in the manuscript of a scientific article as a reflection of the academic culture of the authorial team. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 7-10. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.3.4>

ВВЕДЕНИЕ

В современном академическом мире важность корректного оформления списка источников не может быть переоценена. Этот раздел рукописи научной статьи не только отражает глубину и ширину исследования, но и демонстрирует уважение авторского коллектива к интеллектуальной собственности, авторскому праву и академической честности, что способствует расширению границ знаний и ускорению инновационных процессов. Иными словами, речь идет об отражении уровня сформированности академической культуры каждого конкретного автора и авторского коллектива, как единого организма (Tikhonova et al., 2023). В эпоху цифровизации и всемирной доступности информации, точность и стандартизация в оформлении источников позволяют исследователям из разных культурных и научных контекстов эффективно взаимодействовать, обеспечивая плавный перенос идей и данных между различными областями знания.

Цель данной редакторской заметки – описать важность и особенности оформления списка источников в научных публикациях, а также проанализировать, как эти аспекты отражают академическую культуру и профессионализм авторского коллектива.

СТИЛИ ОФОРМЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ

Существует несколько основных стилей оформления источников в академическом письме, каждый из которых имеет свои особенности и области применения. Любой из этих стилей оформления источников имеет свои руководства и рекомендации, которые подробно описывают правила цитирования и составления библиографических списков для различных типов источников. Освоение соответствующего стиля оформления источников является важной частью академической грамотности и необходимо для эффективного участия в научном сообществе.

APA (American Psychological Association) Style

Этот стиль чаще всего используется в области социальных наук, однако в последнее время получает все большую популярность и в журналах негуманитарного профиля. APA стиль акцентирует внимание на дате публикации, что важно для дисциплин, где актуальность исследований играет ключевую роль. В текстовых цитатах указываются фамилия автора и год издания, а полная библиографическая информация представлена в списке литературы в конце документа. Пример цити-

рования в тексте: (Manzocco, 2016). Пример описания источника в затекстовом списке источников: Manzocco, L. (2016). The Acceptability Limit in Food Shelf-Life Studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(10), 1640-1646. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.794126>

Представление курсивом отдельных частей библиографического описания источника имеет важное значение. Читателю, понимающему конвенции оформления источников в разных стилях, достаточно просто ориентироваться в архитектуре стиля. Поисковые боты, размещающие источники так же ориентируются на конвенционально определенные каноны информации. Запятая после фамилии автора так же играет смысловую роль, позволяя различить имя и фамилию. Использование doi для всех стилей является обязательным.

MLA (Modern Language Association) Style

Широко используется в гуманитарных науках. Список литературы оформляется в алфавитном порядке по фамилии первого автора каждого источника. Для каждого источника указываются: автор(ы), название работы, название контейнера (например, название журнала или издательства), другие участники (например, редакторы или переводчики), версия или номер издания, номера выпусков (для журналов), дата публикации, расположение (например, страницы, URL или DOI). Для текстовых цитат основной акцент делается на имя автора и номер страницы, с которой взята цитата или перефраз. Пример цитирования в тексте: (Manzocco 1643). Пример описания в затекстовом списке источников: Manzocco, Lara. «The Acceptability Limit in Food Shelf-Life Studies». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 56, no. 10, 2016, pp. 1640-46, <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.794126>

Chicago Style

Этот стиль имеет две основные системы: «Notes and Bibliography» (используется в искусстве, литературе и истории) и «Author-Date» (преимущественно в естественных и социальных науках). В первом случае цитирование осуществляется с помощью сносок или концевых сносок, где каждый источник подробно описывается в первой сноске, а последующие упоминания сокращаются. В системе «Author-Date» используется подход, схожий с APA. Пример цитирования в тексте: (Manzocco 2016, 1643). Например, в «Notes and Bibliography», библиографическое описание выглядит так: Manzocco, Lara. «The Acceptability Limit in Food Shelf-Life Studies». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56, no. 10 (2016): 1640-46. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.794126>

0408398.2013.794126. А в «Author-Date» — Manzocco, Lara. 2016. «The Acceptability Limit in Food Shelf-Life Studies». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56 (10): 1640-46. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.794126>

Harvard Style

Этот стиль широко применяется во многих областях. В текстовых ссылках подчеркивает автора и год публикации, аналогично APA. В списках литературы источники упорядочиваются алфавитно по фамилиям авторов и форматируются в соответствии со строгими правилами, указывая полную информацию об источнике. Пример цитирования: (Manzocco, 2016, p. 1643). Пример описания в списке источников: Manzocco, L. 2016. The Acceptability Limit in Food Shelf-Life Studies. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 56(10), pp. 1640-1646. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.794126>

Vancouver Style

Часто используется в медицинских и естественнонаучных журналах. Этот стиль характеризуется нумерованными ссылками в тексте [1], которые соответствуют полным цитатам в списке литературы, упорядоченном в порядке появления цитат в рукописи. В списках литературы источники форматируются с особым вниманием к типу источника (например, книга, статья, электронный ресурс). Например, 1. Manzocco L, Johnson A, White P. The Acceptability Limit in Food Shelf-Life Studies. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2016;56(10):1640-6

Ключевые отличия между стилями

Форматирование

Разные стили имеют различные правила оформления, включая заголовки, маржи, интервалы, шрифты и расположение элементов на странице.

Цитирование в тексте

Отличия в том, как цитировать источники прямо в тексте (например, использование имени автора, даты, номера страницы).

Оформление библиографии

Различия в порядке и формате информации об источниках в списке литературы или библиографии.

Предпочтения по дисциплинам

Каждый стиль предпочтительнее для определенных академических дисциплин или областей исследований.

Каждый из стилей оформления источников имеет четкие рекомендации относительно того, как корректно

цитировать идеи в тексте, как оформлять перефразирование, чтобы опора на предыдущие исследования служила в качестве источника поддержания идей конкретного исследования, а не сводилась к плагиату идей.

ПЛАГИАТ

Поддержание высоких стандартов академической добросовестности требует от исследователей осознанного подхода к цитированию источников и отчетливого разграничения между собственными и чужими идеями.

Плагиат и самоплагиат в научном тексте воспринимаются как серьезное нарушение академической этики (Raitskaya & Tikhonova, 2023). Плагиат представляет собой использование чужих идей, текстов или результатов исследований без должного признания источника, то есть без указания на авторство этих работ. Плагиатные практики не просто нарушают интеллектуальное право, но и подрывают основы академической честности и доверия, которые являются фундаментальными для научного сообщества. Самоплагиат или повторное использование собственных ранее опубликованных работ без ссылок также недопустимы в академическом мире, поскольку вводит в заблуждение читателей относительно новизны и оригинальности представленной работы.

ВЫВОДЫ

Академическая грамотность современного исследования требует осознанного подхода к корректному оформлению результатов научно-исследовательской деятельности в формате научной статьи. Библиографическое описание источников невозможно вне знакомства с конвенциями различных стилей, диктующих каноны представления информации. Способность авторов корректно оформить список источников отражает уровень развития их академической грамотности и выступает в качестве маркера качества для рецензентов и редакторов научных журналов.

ЛИТЕРАТУРА

- Raitskaya L., & Tikhonova E. (2023). Academic Integrity: Author-Related and Journal-Related Issues. *Journal of Language and Education*, 9(4), 5–10. <https://doi.org/10.17323/jle.2023.18489>
- Tikhonova E., Kosycheva M., & Kasatkin P. (2023). Exploring Academic Culture: Unpacking its Definition and Structure (A Systematic Scoping Review). *Journal of Language and Education*, 9(4), 151–162. <https://doi.org/10.17323/jle.2023.18491>

Полисахарид-контролируемая кристаллизация лактозы в сгущенном молоке с сахаром

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

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

АННОТАЦИЯ

Введение: Одной из основных проблем при хранении сгущенного молока с сахаром является процесс образования органолептически ощутимых кристаллов лактозы более 10 мкм. Для предотвращения этого порока применяется технология внесения мелкокристаллической лактозной затравки, обеспечивающая получение качественного продукта. Однако, традиционная технология энергозатратна, требует больших производственных площадей и металлоёмкого оборудования в виде вакуум-кристаллизаторов. В этой связи остаются актуальными исследования альтернативных подходов, препятствующих спонтанной кристаллизации лактозы при производстве сгущенного молока с сахаром

Цель: Целью данного исследования является создание композиции полисахаридов для предотвращения формирования органолептически ощутимых кристаллов лактозы в сгущенном молоке с сахаром

Материалы и методы: В качестве материалов для выработки концентрированных молочных модельных систем с сахаром применяли коммерческие образцы сухого обезжиренного молока, сахара, полисахаридов и сухого гидролизата сывороточных белков. В исследовании использовали методы ротационной вискозиметрии, электронной микроскопии и метод сорбционно-емкостного определения связанной воды для измерения показателей динамической вязкости, линейных размеров кристаллов лактозы, показателей активности воды, соответственно

Результаты: В статье представлены данные о влиянии отдельных полисахаридов, а также их комплексов на процесс кристаллизации лактозы в концентрированных молочных системах с сахаром о формировании устойчивой структуры матриц, отражающие способность оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие гидроколлоидов на процесс кристаллизации лактозы и изменения динамической вязкости. Для многокомпонентных комплексных систем, содержащих карбоксиметилцеллюлозу, альгинат натрия, камедь тары, камедь рожкового дерева и гуммиарабик, установлен как эффект синергизма, заключающийся в межмолекулярном взаимодействии полисахаридов и замедлении спонтанной кристаллизации лактозы, так и эффект антагонизма, проявляющийся в увеличении размеров кристаллов

Выводы: Композиция, содержащая камедь тары, карбоксиметилцеллюлозу и гуммиарабик, показала наиболее ярко выраженные свойства к ингибированию роста кристаллов лактозы, а также высокие тиксотропные свойства. В практическом аспекте применение данной комплексной добавки для производства сгущенных молочных продуктов с сахаром методом восстановления сухих компонент может заменить классический процесс внесения затравки мелкокристаллической лактозы, а, соответственно, снизить энерго- и металлоемкость процесса кристаллизации лактозы в продукте.

Ключевые слова: полисахариды; кристаллизация лактозы; динамическая вязкость; сгущенные молочные консервы с сахаром; стабилизирующие добавки

Корреспонденция:

Александр Геннадьевич
Кручинин,
E-mail: a_kruchinin@vniimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 12.03.2023

Принята: 15.12.2023

Опубликована: 30.12.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Барковская, И.А., Кручинин, А.Г., Туровская, С.Н., Илларионова, Е.Е., & Большакова, Е.И. (2023). Полисахарид-контролируемая кристаллизация лактозы в сгущенном молоке с сахаром. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 11-287 <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.25>

Polysaccharide-Controlled Lactose Crystallization in Sweetened Condensed Milk

Irina A. Barkovskaya, Alexander G. Kruchinin, Svetlana N. Turovskaya, Elena E. Illarionova, Ekaterina I. Bolshakova

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: One of the main issues during the storage of sweetened condensed milk is the formation of lactose crystals larger than 10 μm , which are organoleptically perceivable. The traditional method of preventing this defect involves adding finely crystalline lactose seed, ensuring the production of a quality product. However, this conventional process is energy-intensive, requiring significant production space and metal-intensive equipment, such as vacuum crystallizers. Therefore, research into alternative approaches to prevent spontaneous lactose crystallization during the production of sweetened condensed milk remains relevant.

Purpose: The aim of this study is to create a polysaccharide composition to prevent the formation of organoleptically perceivable lactose crystals in sweetened condensed milk.

Materials and Methods: Commercial samples of dry skimmed milk, sugar, polysaccharides, and dry hydrolysate of whey proteins were used as materials for developing concentrated dairy model systems with sugar. The study employed rotational viscometry, electron microscopy, and sorption-capacity measurement of bound water to determine dynamic viscosity, linear dimensions of lactose crystals, and water activity indices, respectively.

Results: The article presents data on the influence of individual polysaccharides and their complexes on lactose crystallization in concentrated dairy systems with sugar and the formation of stable matrix structures. The results reflect the ability of hydrocolloids to positively and negatively impact lactose crystallization and changes in dynamic viscosity. For multi-component complex systems containing carboxymethylcellulose, sodium alginate, tara gum, locust bean gum, and gum arabic, both synergistic effects (intermolecular interactions of polysaccharides slowing down spontaneous lactose crystallization) and antagonistic effects (increased crystal size) were established.

Conclusion: A composition containing tara gum, carboxymethylcellulose, and gum arabic showed the most pronounced properties in inhibiting lactose crystal growth and high thixotropic properties. Practically, the use of this complex additive in the production of sweetened condensed dairy products by restoring dry components can replace the classic process of adding fine-crystalline lactose seed, thus reducing the energy and metal intensity of lactose crystallization in the product.

Keywords: polysaccharides; lactose crystallization; dynamic viscosity; sweetened condensed milk; stabilizing additives

Correspondence:

Alexander G. Kruchinin,
E-mail: a_kruchinin@vnimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 12.03.2023

Accepted: 15.12.2023

Published: 30.12.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Barkovskaya, I.A., Kruchinin, A.G., Turovskaya, S.N., Illarionova, E.E., & Bolshakova, E.I. (2023). Polysaccharide-controlled crystallization of lactose in sweetened condensed milk. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 11-27. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.25>

ВВЕДЕНИЕ

Актуальным вопросом пищевой промышленности остается повышение качества и безопасности продуктов переработки молока. Проблема повышения качества продукции также в полной мере относится к производству одного из видов молочных консервов — сгущенного молока с сахаром, пользующегося популярностью не только у населения, благодаря стабильности его микробиологических, физико-химических и органолептических показателей, высокой пищевой ценности, удобству использования, но и массовой востребованностью в качестве сырья для промышленной переработки в кондитерской, хлебопекарной и прочих отраслях (Радаева, 2020). Основной проблемой при хранении сгущенного молока с сахаром является процесс образования органолептически ощутимых кристаллов лактозы более 10 мкм. Формирование кристаллов, характеризующихся большими линейными размерами, оказывает существенное влияние на консистенцию готового продукта.

При производстве сгущенного молока с сахаром наиболее распространенной является технология, предусматривающая внесение мелкокристаллической лактозной затравки, размер кристаллов которой не должен превышать 3–4 мкм, обеспечивающая образование максимального количества центров кристаллизации (Радаева, 1986). Внесение затравки на заключительном этапе технологического процесса, при условии соблюдения температурно-временных режимов производства, позволяет получить кристаллы с размером не более 10 мкм и концентрацией в 1 мл продукта не менее 400 тысяч (Туровская, 2018). Несмотря на формирование органолептически не ощутимых кристаллов лактозы, данная технология характеризуется значительными энергозатратами, требует больших производственных помещений и дорогостоящего оборудования (вакуум-кристаллизаторы).

Существует технология, исключающая использование затравки из мелкокристаллической лактозы. В этом случае применяют ферментный препарат β -галактозидаз, гидролизующий дисахарид лактозу на моносахариды глюкозу и галактозу, которые обладают более высокой степенью растворимости, в результате чего предотвращается формирование кристаллов сахаров, следовательно, снижается риск возникновения пороков консистенции сгущенного молока с сахаром (Фатьянов, 2011).

Недостатками описанной технологии являются ее экономические показатели, аналогичные технологиям с внесением затравочного материала, а также увеличивающаяся склонность готового продукта к реакции Майяра, ввиду повышенного содержания моносахаров (Галстян, 2012). В связи с этим, актуализируются исследования, направленные на изучение альтернативных способов контроля спонтанной кристаллизации лактозы при производстве сладких молочных консервов.

Исследование влияния различных веществ и ингредиентов на регулирование процесса кристаллизации лактозы, а также разработки технологического оборудования для интенсификации этапа кристаллообразования при производстве сладких сгущенных продуктов последние десять лет включены в сферу интересов ученых отрасли. Так, Червецов (2011) представил схему установки для двухступенчатого способа охлаждения сгущенного молока с сахаром, позволяющая уменьшить линейные размеры кристаллов лактозы на 18–25 %, а также сократить продолжительность процесса на 65 %. Виноградова (2018) продемонстрировала положительное влияние на процесс кристаллизации лактозы подсырной сыворотки, обеспечивающей получение качества молочных консервов с сахаром, соответствующего нормативной документации на продукты данной группы. Рябова (2014) описала технология сгущенных молочных продуктов с сахаром с проведением процесса направленной гетерогенной кристаллизации лактозы. Автор исследовала влияние семи имитационных материалов (CaCO_3 , TiO_2 , SiO_2 , CaSO_3 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, MgCO_3 , CaSiO_3) на процесс формирования кристаллов лактозы. Производственная апробация и хранение продукции в течение 8 месяцев подтвердили эффективность технологии гетерогенной кристаллизации с применением первых трех имитационных зародышевых центров (Рябова, 2014). Согласно Гнездиловой с соавторами (2014), необходимая консистенция сгущенных молочных консервов с сахаром достигается также посредством изменения реологических характеристик продукта. Указанная исследовательская группа трансформировала углеводно-белковый состав и применяли различные режимы охлаждения. В качестве нетрадиционных компонентов в рецептуру исследуемых систем были включены крахмальных сироп, солод и деминерализованная сухая сыворотка. Полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии вносимых компонентов на структурные характеристики готового продукта (увеличение вязкости, прочности, уменьшение разме-

ра кристаллов лактозы), объясняемом формированием связей между мицеллами казеина с участием глюкозы (Гнездилова, 2014; Smykov, 2019). Вышеприведенные технологии тем не менее требуют проведения этапа кристаллизации.

Необходимых микроструктурных характеристик готовой продукции можно также достичь при использовании стабилизирующих добавок, в основном полисахаридов (гидроколлоидов), которые на данный момент применяют в производстве молочкосодержащих консервов, вырабатываемых нетрадиционным способом — методом восстановления сухих компонентов, т.е. без использования вакуум-выпарных аппаратов (Писарева, 2016). Широко используемыми в молочной промышленности полисахаридами являются пектины, каррагинаны, альгинаты, растительные камеди и камеди микробного происхождения, производные целлюлозы, благодаря их функционально-технологическим свойствам (Sajad Pirs, 2023). В ряде работ российских и зарубежных авторов (Das, 2013; Sánchez-García, 2021; Писарева (2016) и др.) сообщается об использовании стабилизаторов не только для достижения заданных реологических показателей, но и для контроля процесса кристаллизации лактозы. Так, Das (2013) на примере модельных растворов, содержащих гуммиарабик и лактозу в соотношении 10:90 соответственно, продемонстрировал эффект сдерживания роста кристаллов молочного сахара в результате добавления растительного полисахарида. Аналогичное исследование проведено Sánchez-García (2021), указавшим на способность каппа- и йота-каррагинана влиять на процесс кристаллизации молочного сахара в водных системах, изменяя продолжительность мутаротации. Portnoy (2021) отметила использование камедей микробного происхождения, в том числе ксантановой камеди, для предотвращения порока консистенции сгущенного молока с сахаром «песчанистость». Писарева (2016) обосновала возможность использования анионных полисахаридов (низкоэтерифицированного пектина и альгината натрия) в технологии сладких молочных консервов для контроля показателей консистенции продукта, обеспечения высоких органолептических характеристик и предотвращения формирования крупных кристаллов лактозы. Известно также использование камеди тары и карбоксиметилцеллюлозы в технологии молочкосодержащих продуктов с промежуточной влажностью с целью совершенствования качественных характеристик готового продукта, в том числе его консистенции

(Косова, 2010). Голубева (2020) с соавторами сообщает о применении структурообразователя, содержащего гуаровую и ксантановую камеди в сочетании с камедью рожкового дерева, в технологии сладких консервов для придания готовому продукту кремовой структуры.

Несмотря на то, что существующие работы описывают влияние некоторых наиболее часто используемых полисахаридов на процесс кристаллизации лактозы, на наш взгляд исследовательская база в недостаточной степени охватывает данный вопрос. Ранние исследования, например, Das (2013) и Sánchez-García (2021), описали способность гидроколлоидов (гуммиарабика, каппа- и йота-каррагинанов) влиять на кинетику процесса кристаллизации лактозы в водных системах, не освещая свойства добавки при внесении ее в концентрированную молочную систему. Также требует более глубокого изучения влияние отдельных полисахаридов на кристаллообразование лактозы, так проявления синергетического эффекта при сочетании двух и более полисахаридов.

Целью данного исследования является создание композиции полисахаридов для предотвращения формирования органолептически ощутимых кристаллов лактозы в сгущенном молоке с сахаром. В рамках исследования выполнены задачи по изучению свойств моногидроколлоидов, составлению на их основе бинарных и тринарных композиций, их анализ в аспекте способности к ингибированию кристаллизации лактозы в концентрированных молочно-сахарных системах и установление оптимально приемлемого компонентного состава добавок. Результатами проведенного исследования являлись гипотезы, связанные с механизмом ингибирования роста кристаллов молочного сахара, а также разработка ряда комплексных добавок, обладающих ярко выраженными свойствами в отношении предотвращения процесса спонтанной кристаллизации лактозы.

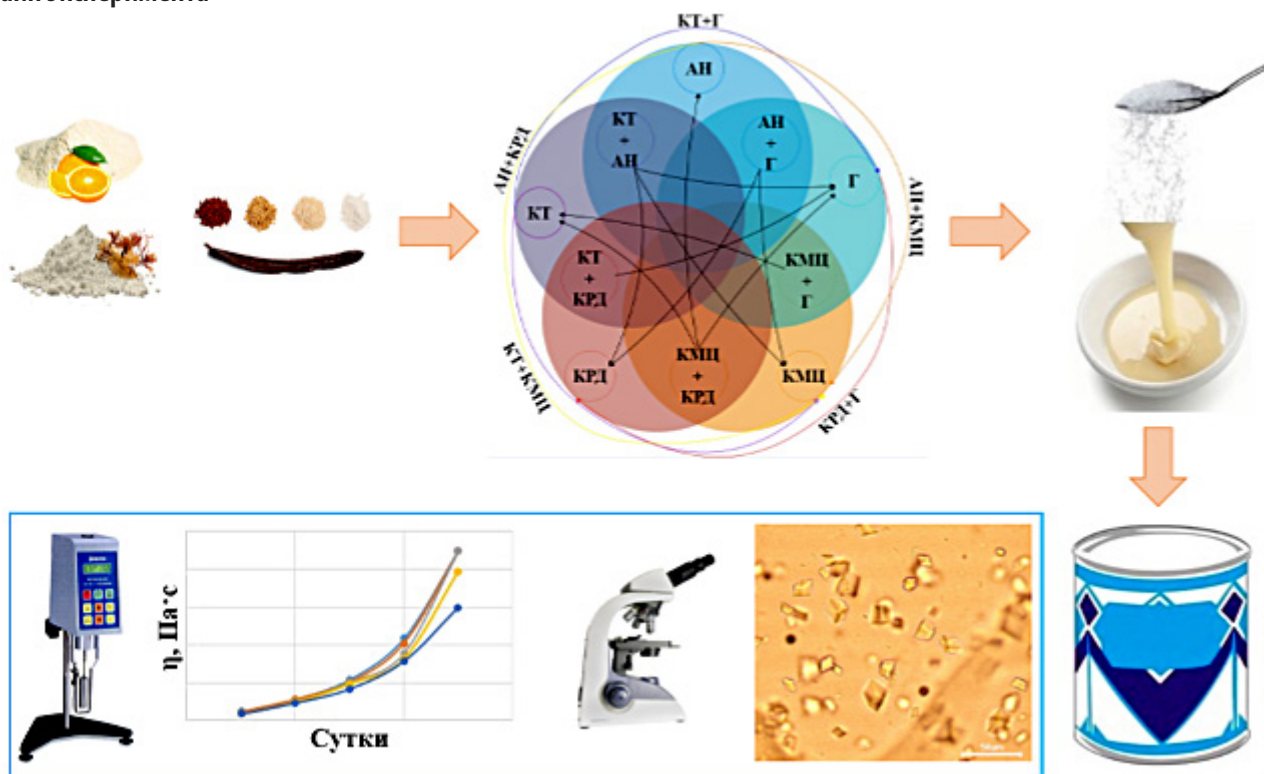
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Структурно-иерархическая схема выполнения работ состояла из трех логически взаимосвязанных этапов, необходимых для реализации исследований, в соответствии с поставленной целью и сформулированными задачами (Рисунок 1). Первый этап включал в себя оценку влияния отдельных полисахаридов на процесс кри-

Рисунок 1

Дизайн эксперимента



сталлизации лактозы в сгущенном молоке с сахаром. На втором этапе был оптимизирован состав полисахаридных композиций с учетом влияния факторов на динамическую вязкость и кристаллообразование. Третий этап посвящен подтверждению заявленных характеристик полисахаридных композиций на протяжении всего периода динамической фазы кристаллизации в сгущенном молоке с сахаром.

Материалы

Для создания концентрированных модельных молочных систем с сахаром использовали коммерческие образцы сухого обезжиренного молока (ООО «Мелиузовский МКК», Россия), сахар-песок (ГК «Русагро», Россия), сухой гидролизат сывороточных белков по СТО 00419785–039–2018 (ФГАНУ «ВНИМИ», Россия), дистиллированную воду. В качестве полисахаридов, вносимых в молочную систему, применяли низкоэтерифицированный пектин GENU LM 13 CG (CPKelco, США) (НЭП), альгинат натрия 1000 (Jiangsu Benefit Ocean, Китай) (АН), ксантановую камедь Keltrol (CPKelco, США) (КК), гуаровую камедь GuarSar 501 (Sarda, Индия) (ГК), гуммиарабик EmulGold Fiber (Kerry Ingredients & Flavours Ltd., Ир-

ландия) (Г), карбоксиметилцеллюлозу 8000 (Shandong Arctic Chemical, Китай) (КМЦ), камедь рожкового дерева C-175-S (LBG Sicilia S.r.l., Италия) (КРД) и камедь тары (Exandal, LBG Sicilia, Италия) (КТ).

Выработка концентрированных модельных молочных систем с сахаром

Концентрированные модельные молочные системы с сахаром (КМС) вырабатывали по рецептурам, представленным в Таблице 1, которые соответствовали по физико-химическим показателям СТО ВНИМИ 00419785–064-2022.

Таблица 1

Компонентный состав концентрированных модельных молочных систем с сахаром на 1000 г

Наименование сырья	Масса, г
Молоко сухое обезжиренное (массовая доля сухих веществ 95,0%; массовая доля белка 34,0%)	207,7
Гидролизат сывороточных белков сухой (массовая доля сухих веществ 97,0%; массовая доля белка 40,0%)	47,6
Сахар-песок (массовая доля сухих веществ 99,86%; массовая доля сахарозы 99,75%)	451,1
Вода питьевая	293,6

Таблица 2

Симплекс-центроидный план для многокомпонентных смесей

№ образца	Вариабельные факторы в кодированном виде			Вариабельные факторы в натуральном виде, %		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
1	1,000	0	0	0,200	0	0
2	0	1,000	0	0	0,200	0
3	0	0	1,000	0	0	0,200
4	0,500	0,500	0	0,100	0,100	0
5	0,500	0	0,500	0,100	0	0,100
6	0	0,500	0,500	0	0,100	0,100
7	0,333	0,333	0,333	0,066	0,066	0,066
8	0,667	0,167	0,167	0,133	0,033	0,033
9	0,167	0,667	0,167	0,033	0,133	0,033
10	0,167	0,167	0,667	0,033	0,033	0,133

Для выработки модельных систем использовали модернизированную гидродинамическую установку Термомикс ТМ-31 (Vorwerk, Германия) с функцией вакуумирования для дегазации молочной смеси. В емкость вносили рецептурное количество воды, после чего осуществляли нагрев до температуры 35–40 °С. В нагретую воду добавляли сухое обезжиренное молоко и диспергировали в течение 15–20 минут при 1200 мин⁻¹. Молочную смесь нагревали до температуры 80–85 °С, вносили сахар-песок, при необходимости смешанный с полисахаридами или полисахаридными композициями. Во время технологического процесса контролировали массовую долю влаги в молочно-сахарной смеси и при необходимости стандартизовали добавлением дистиллированной воды. Нормализованную по массовой доле влаги смесь пастеризовали при температуре 93 ± 2 °С без выдержки. После пастеризации готовую модельную систему охлаждали до 8 ± 2 °С и хранили при этих температурных условиях в течение исследуемого периода.

Проектирование полисахаридных композиций

На предварительном этапе проектирования полисахаридных композиций был проведен скрининг отдельных полисахаридов, направленный на изучение доза-зависимого влияния (0,05; 0,10; 0,15 и 0,20 %) на изменение динамической вязкости и способности ингибировать/

замедлять кристаллообразование в КМС. Для проектирования и оптимизации внутрикомпозиционного состава полисахаридного комплекса был использован симплекс-центроидный план для многокомпонентных смесей (Таблица 2).

Инструменты и методы

Исследование динамической вязкости

Измерение показателей динамической вязкости КМС осуществляли при помощи ротационного вискозиметра Brookfield, модель RVDV-II+ Pro по методике¹. Измерение вязкости проводили при статичной температуре 10 °С при скорости вращения шпинделя (№ S21) 10 RPM. Для оценки индекса восстановления КМС после измерения вязкости продукт перемешивали на мешалке при 100 мин⁻¹ в течении 5 минут, после чего подвергали повторному измерению вязкости. Индекс восстановления динамической вязкости рассчитывали по формуле:

$$\text{ИВС} = \frac{\mu_n}{\mu_k},$$

где μ_n — начальная динамическая вязкость (Па·с); μ_k — динамическая вязкость после механического воздействия (Па·с).

¹ Крупенникова, В. Е., Раднаева, В. Д., Танганов, Б. Б. (2011). Определение динамической вязкости на ротационном вискозиметре Brookfield RVDV-II+ Pro. Методическое указание. ВСГТУ.

По результатам полученных значений проводили оценку модельных систем с полисахаридами с точки зрения реологической стабильности при хранении.

Изучение линейных размеров кристаллов лактозы

Микроструктурные изменения консистенции (размер кристаллов лактозы) в исследуемых образцах осуществляли с использованием метода по определению размеров кристаллов молочного сахара по ГОСТ 29245–91 окуляр-микрометром при увеличении в 150–1000 раз с использованием микроскопа «МИКМЕД-6» с камерой TCA-5.0C (АО «ЛОМО», Россия). Для оценки модельных систем использована система классификации размеров лактозы по группам, характеризующим пороки сладких молочных консервов, согласно Рябовой (2018):

- 1 — однородная (размер кристаллов для этой группы равен 4–12 мкм);
- 2 — слабомучнистая (размер кристаллов 12–16 мкм);
- 3 — мучнистая (размер кристаллов лактозы 16–25 мкм);
- 4 — песчанистая (размер кристаллов более 25 мкм).

Исследование активности воды

Измерение активности воды (A_w) в образцах продукта проводили сорбционно-емкостным методом на приборе «HYDROLAB 3» (Rotronic AG, Швейцария), с цифровой вентилируемой станцией «AwVC-DIO». Измерения про-

водили при контролируемой температуре продукта и окружающей среды (20°C).

Обработка полученных данных

Средние и максимальные линейные размеры кристаллов лактозы получены посредством обработки массива данных, зафиксированных при микроскопировании препаратов в программе Microsoft Excel 2016. Данные в таблицах представлены в виде средних значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Целью данного исследования являлось создание композиции полисахаридов для предотвращения формирования органолептически ощутимых кристаллов лактозы в сгущенном молоке с сахаром. В этой связи результаты разделены на следующие блоки: свойства отдельных полисахаридов и свойства полисахаридных комплексов.

Свойства отдельных полисахаридов

На первом этапе исследований изучены реологические свойства и склонность к кристаллизации КМС, стабилизированных отдельными полисахаридами. В качестве реперных точек, контролирующих исследуемые параметры, были выбраны 3 и 7 сутки от даты производства модельных систем. Результаты представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Результаты изменения динамической вязкости и размеров кристаллов лактозы в стабилизированных КМС

Наименование образца	Концентрация, %	Динамическая вязкость, Па · с			Линейные размеры кристаллов лактозы (мкм) на 7 сутки	
		0 сутки	3 сутки	7 сутки	Max	Mean
К (Контроль)	—	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,1	2,2 ± 0,1	45,5 ± 2,6	25,2 ± 1,3
НЭП	0,05	4,8 ± 0,1	5,1 ± 0,1	5,8 ± 0,3	65,1 ± 4,2	37,9 ± 3,1
НЭП	0,10	8,5 ± 0,2	10,2 ± 0,4	11,0 ± 0,6	74,9 ± 4,8	37,5 ± 2,9
НЭП	0,15	15,8 ± 0,5	17,9 ± 0,6	21,8 ± 1,6	293,5 ± 11,3	173,1 ± 7,3
НЭП	0,20	30,0 ± 1,4	44,8 ± 1,8	44,8 ± 3,4	53,6 ± 4,1	36,1 ± 3,4
АН	0,05	3,2 ± 0,1	3,9 ± 0,2	3,8 ± 0,1	54,6 ± 4,6	33,8 ± 3,1
АН	0,10	4,1 ± 0,1	4,8 ± 0,1	5,4 ± 0,2	38,8 ± 4,1	28,7 ± 2,0
АН	0,15	5,0 ± 0,1	6,1 ± 0,3	6,2 ± 0,4	42,9 ± 3,2	26,6 ± 1,6
АН	0,20	10,4 ± 0,4	12,0 ± 0,6	12,3 ± 0,8	41,4 ± 2,4	26,2 ± 1,3
КК	0,05	7,3 ± 0,2	7,8 ± 0,4	9,1 ± 0,6	57,0 ± 3,4	30,9 ± 2,4

Окончание Таблицы 3

Наименование образца	Концентрация, %	Динамическая вязкость, Па · с			Линейные размеры кристаллов лактозы (мкм) на 7 сутки	
		0 сутки	3 сутки	7 сутки	Max	Mean
КК	0,10	9,7 ± 0,5	11,1 ± 0,5	11,8 ± 0,8	70,4 ± 4,6	35,0 ± 2,1
КК	0,15	17,9 ± 0,6	18,3 ± 1,1	20,2 ± 1,1	73,1 ± 4,5	39,1 ± 1,9
КК	0,20	22,1 ± 0,7	23,6 ± 1,3	23,5 ± 1,4	53,3 ± 3,2	43,6 ± 3,2
ГК	0,05	2,9 ± 0,1	3,5 ± 0,1	4,6 ± 0,2	65,2 ± 4,0	35,6 ± 2,2
ГК	0,10	2,8 ± 0,1	3,8 ± 0,1	4,8 ± 0,1	48,7 ± 2,9	33,3 ± 1,9
ГК	0,15	3,0 ± 0,1	3,9 ± 0,1	4,8 ± 0,1	64,5 ± 4,2	40,0 ± 2,1
ГК	0,20	3,3 ± 0,1	4,2 ± 0,2	5,0 ± 0,3	45,5 ± 2,8	32,0 ± 1,7
Г	0,05	2,9 ± 0,1	3,5 ± 0,1	3,8 ± 0,1	48,1 ± 3,2	34,4 ± 1,5
Г	0,10	2,8 ± 0,1	3,5 ± 0,1	3,8 ± 0,1	37,7 ± 2,4	24,3 ± 1,1
Г	0,15	3,1 ± 0,1	3,6 ± 0,1	4,0 ± 0,4	37,1 ± 2,0	28,2 ± 1,2
Г	0,20	3,6 ± 0,1	3,9 ± 0,1	4,0 ± 0,3	47,4 ± 3,6	26,6 ± 1,0
КМЦ	0,05	4,8 ± 0,2	5,9 ± 0,1	6,0 ± 0,1	143,9 ± 6,9	60,8 ± 2,7
КМЦ	0,10	8,0 ± 0,5	8,1 ± 0,2	8,2 ± 0,3	63,4 ± 3,5	31,0 ± 1,6
КМЦ	0,15	10,0 ± 0,5	10,1 ± 0,3	11,8 ± 0,5	118,5 ± 5,3	39,7 ± 2,0
КМЦ	0,20	15,4 ± 0,6	16,2 ± 0,8	19,8 ± 0,8	57,2 ± 2,7	24,9 ± 1,2
КРД	0,05	4,7 ± 0,1	4,7 ± 0,1	5,8 ± 0,1	49,6 ± 2,1	26,4 ± 1,4
КРД	0,10	4,8 ± 0,1	5,9 ± 0,2	8,4 ± 0,4	42,2 ± 2,0	24,6 ± 1,0
КРД	0,15	7,0 ± 0,4	8,2 ± 0,3	10,0 ± 0,5	99,2 ± 5,2	30,5 ± 1,2
КРД	0,20	7,1 ± 0,3	9,9 ± 0,6	10,9 ± 0,5	64,5 ± 3,1	29,8 ± 1,4
КТ	0,05	5,7 ± 0,3	5,8 ± 0,1	6,6 ± 0,1	80,3 ± 3,9	40,7 ± 2,3
КТ	0,10	6,3 ± 0,4	6,4 ± 0,1	9,6 ± 0,2	74,3 ± 3,5	26,2 ± 1,1
КТ	0,15	7,9 ± 0,2	9,6 ± 0,3	11,2 ± 0,5	56,9 ± 2,9	31,6 ± 1,7
КТ	0,20	8,2 ± 0,4	11,7 ± 0,5	14,9 ± 0,8	86,5 ± 4,6	33,9 ± 1,7

В контрольном образце при хранении в течение семи суток в условиях спонтанной кристаллизации вязкость выросла незначительно, однако, размер кристаллов лактозы превышал максимально допустимое значение в 1,7 раза (более 15 мкм) (Таблица 3). При этом, в данной системе наблюдались единичные кристаллы лактозы, в 1,8 раза превышающие медианные значения для образца. Отмечено, что большинство полисахаридов во всех исследуемых концентрациях (0,05–0,2 %) не обладают ярко выраженными свойствами подавления кристаллизации. Для образцов АН (в концентрации более 0,1 %), Г (в концентрации более 0,1 %), КМЦ (0,2 %), КРД (0,05–0,2 %) и КТ (0,1 %) степень кристаллизации лактозы находилась на сопоставимо схожем уровне в сравнении с контрольным образцом. Для систем НЭП (0,05; 0,1;

0,2 %), АН (0,05 %), КК (0,05–0,2 %), ГК (0,05–0,2 %), Г (0,05 %), КМЦ (0,1–0,15 %) и КТ (0,05; 0,15; 0,2 %) средний линейный размер кристаллов лактозы в среднем превышал размеры кристаллов в контрольном образце в 1,6 раза. Отдельно следует отметить, что полисахариды НЭП и КМЦ в дозировках 0,15 и 0,05 %, соответственно, приводили к значимому увеличению размеров кристаллов лактозы в 6,9 и 2,4 раза, в сравнении с контрольным образцом. Для всех стабилизированных образцов являлось характерным дозозависимое увеличение динамической вязкости. Кроме того, при внесении в КМС полисахаридов НЭП и КК в концентрациях более 0,1 %, а также 0,2 % для КМЦ наблюдалось повышение показателя динамической вязкости, превышающее допустимое значение более чем в 1,3 раза. Несмотря

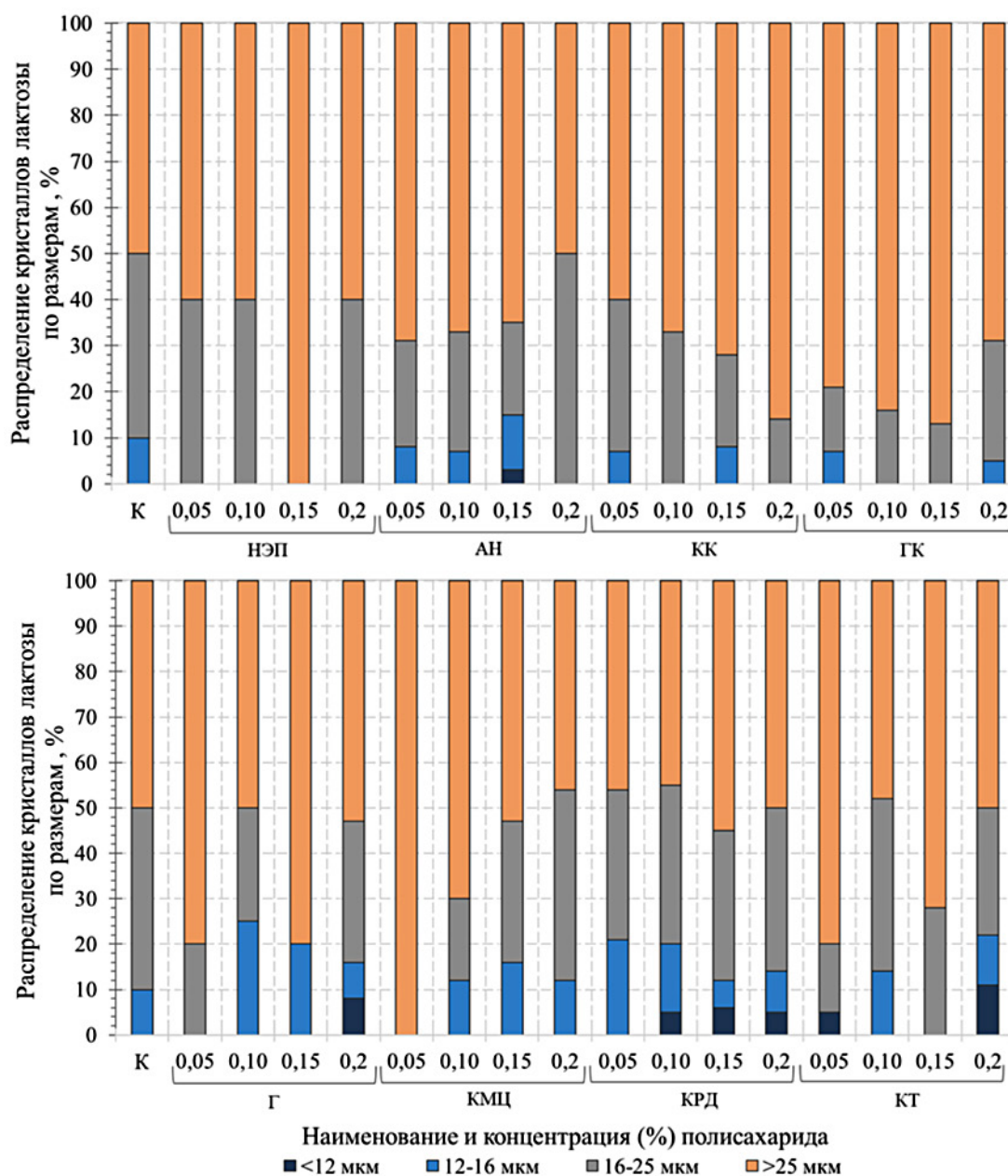
тря на отсутствие достоверного отличия в медианных размерах кристаллов лактозы, отмечено различие в их распределении по группам (Рисунок 2).

Как показано на Рисунке 2, в контрольном образце основную массу составляют кристаллы с размерами более 25 мкм, в то время как кристаллы с размерами менее 12 мкм отсутствуют. Сопоставление распределения кристаллов в стабилизированных КМС позволило установить, что при идентичных медианных значениях раз-

меров кристаллов лактозы в образцах АН (0,15 %), Г (0,2 %), КРД (0,1–0,2 %) и КТ (0,05; 0,2 %) наблюдалось увеличение доли кристаллов размером менее 12 мкм, что может свидетельствовать о контролируемом полисахаридами процессе зародышеобразования. Одновременно с этим для КМЦ (0,15 %) показано увеличение доли кристаллов размерами 12–16 мкм, что указывает на процесс снижения скорости кристаллизации, индуцируемый КМЦ.

Рисунок 2

Результаты оценки распределения кристаллов лактозы по размерам в КМС



Свойства полисахаридных комплексов

В связи с этим, для дальнейшего исследования были выбраны стабилизационные системы АН, Г, КМЦ, КРД, КТ. На втором этапе при помощи симплекс-центроидного плана для многокомпонентных смесей изучены внутри-композиционные взаимодействия полисахаридов и их влияние на динамическую вязкость и кристаллообразование в КМС (Таблица 4).

При исследовании бикомпонентных КМС для большинства стабилизационных систем (АН:КТ; АН:КРД; АН:КМЦ; АН:Г; КТ:Г; КМЦ:Г) показано отсутствие достоверных различий в значениях медианных размеров кристаллов лактозы, в сравнении с ранее изученными образцами, стабилизированными отдельными полисахаридами. При этом установлено, данные комплексы формировали более прочную структуру матрикса, в отличие от КМС, исследованных на первом этапе. Следует

Таблица 4

Результаты изменения динамической вязкости и размеров кристаллов лактозы в КМС, стабилизированных многокомпонентными полисахаридными комплексами

№ образца	Вариабельные факторы в натуральном виде, %					Динамическая вязкость (Па · с) на 7 сутки хранения	Средний линейный размер кристаллов лактозы (мкм) на 7 сутки хранения
	АН	КТ	КРД	КМЦ	Г		
1	0,100	0,100	0	0	0	9,8 ± 0,4	29,6 ± 1,3
2	0,100	0	0,100	0	0	6,9 ± 0,3	24,8 ± 1,3
3	0,100	0	0	0,100	0	8,3 ± 0,4	22,7 ± 1,0
4	0,100	0	0	0	0,100	5,9 ± 0,3	23,2 ± 1,2
5	0	0,100	0,100	0	0	6,8 ± 0,4	39,4 ± 2,0
6	0	0,100	0	0,100	0	6,4 ± 0,3	49,55 ± 1,8
7	0	0,100	0	0	0,100	6,1 ± 0,3	30,4 ± 1,2
8	0	0	0,100	0,100	0	6,4 ± 0,4	56,1 ± 2,3
9	0	0	0,100	0	0,100	5,9 ± 0,2	46,6 ± 2,3
10	0	0	0	0,100	0,100	4,8 ± 0,2	23,5 ± 1,1
11	0,066	0,066	0,066	0	0	7,9 ± 0,4	5,5 ± 0,2
12	0,066	0,066	0	0	0,066	7,6 ± 0,3	50,8 ± 1,9
13	0,066	0,066	0	0,066	0	8,1 ± 0,4	15,4 ± 0,5
14	0,066	0	0,066	0,066	0	11,6 ± 0,5	29,5 ± 1,2
15	0,066	0	0,066	0	0,066	8,0 ± 0,4	91,6 ± 4,1
16	0,066	0	0	0,066	0,066	7,2 ± 0,3	62,5 ± 2,9
17	0	0,066	0,066	0,066	0	9,5 ± 0,4	117,85 ± 4,8
18	0	0,066	0,066	0	0,066	8,1 ± 0,4	120,2 ± 6,1
19	0	0,066	0	0,066	0,066	7,2 ± 0,3	4,1 ± 0,1
20	0	0	0,066	0,066	0,066	6,0 ± 0,3	5,9 ± 0,3
21	0,136	0,032	0,032	0	0	7,3 ± 0,4	22,7 ± 0,8
22	0,136	0,032	0	0,032	0	8,5 ± 0,4	64,1 ± 3,6
23	0,136	0,032	0	0	0,032	10,0 ± 0,5	26,5 ± 1,3
24	0,136	0	0,032	0	0,032	8,6 ± 0,3	35,5 ± 1,7
25	0,136	0	0,032	0,032	0	10,2 ± 0,5	26,7 ± 1,2
26	0,136	0	0	0,032	0,032	7,3 ± 0,2	20,0 ± 0,9
27	0,032	0,136	0,032	0	0	8,2 ± 0,3	29,0 ± 1,2
28	0,032	0,136	0	0,032	0	7,2 ± 0,3	21,9 ± 0,8

№ образца	Вариабельные факторы в натуральном виде, %					Динамическая вязкость (Па · с) на 7 сутки хранения	Средний линейный размер кристаллов лактозы (мкм) на 7 сутки хранения
	АН	КТ	КРД	КМЦ	Г		
29	0,032	0,136	0	0	0,032	9,5 ± 0,4	33,3 ± 1,3
30	0	0,136	0,032	0,032	0	9,2 ± 0,5	94,4 ± 3,6
31	0	0,136	0,032	0	0,032	11,2 ± 0,5	97,7 ± 4,7
32	0	0,136	0	0,032	0,032	11,6 ± 0,6	139,1 ± 6,8
33	0,032	0,032	0,136	0	0	6,9 ± 0,3	42,2 ± 1,6
34	0,032	0	0,136	0,032	0	7,6 ± 0,4	27,3 ± 1,0
35	0,032	0	0,136	0	0,032	9,1 ± 0,5	56,1 ± 2,4
36	0	0,032	0,136	0	0,032	8,5 ± 0,5	111,1 ± 4,2
37	0	0,032	0,136	0,032	0	10,1 ± 0,5	97,9 ± 5,1
38	0	0	0,136	0,032	0,032	7,2 ± 0,3	65,8 ± 3,2
39	0,032	0,032	0	0,136	0	6,0 ± 0,3	34,2 ± 1,2
40	0	0,032	0,032	0,136	0	7,6 ± 0,3	94,6 ± 4,6
41	0,032	0	0,032	0,136	0	6,0 ± 0,2	18,7 ± 1,1
42	0,032	0	0	0,136	0,032	5,7 ± 0,2	32,9 ± 2,3
43	0	0,032	0	0,136	0,032	5,8 ± 0,2	24,0 ± 1,4
44	0	0	0,032	0,136	0,032	6,3 ± 0,2	3,5 ± 0,1
45	0,032	0,032	0	0	0,136	5,3 ± 0,1	41,6 ± 2,0
46	0,032	0	0,032	0	0,136	8,7 ± 0,4	50,3 ± 2,6
47	0,032	0	0	0,032	0,136	5,7 ± 0,2	80,2 ± 4,0
48	0	0,032	0,032	0	0,136	5,5 ± 0,3	40,2 ± 1,8
49	0	0,032	0	0,032	0,136	4,6 ± 0,2	32,2 ± 1,5
50	0	0	0,032	0,032	0,136	4,4 ± 0,1	2,7 ± 0,1

подчеркнуть, что для систем КТ:КРД; КТ:КМЦ; КРД:КМЦ; КРД:Г отмечено увеличение медианных значений размеров кристаллов более 40 мкм. Данная особенность может быть обоснована эффектом антагонизма при использовании двух гидроколлоидов. Динамическая вязкость образцов находилась в допустимом диапазоне значений и была в 3–4 раза больше показателя вязкости контрольного образца. Анализ трехкомпонентных композиций позволил выявить синергетический эффект для АН:КТ:Г и КТ:КМЦ:Г в равных соотношениях; КРД:КМЦ:Г, а также для КРД:КМЦ:Г в трех соотношениях: в равных, с преобладающим содержанием КМЦ, с преобладающим содержанием Г, заключающийся в ингибировании роста кристаллов лактозы, при сохранении значений динамической вязкости в диапазоне 4,4–7,9 Па·с. Для остальных КМС значимый синергетический эффект не обнаружен, а для некоторых детектирован сильно выраженный антагонистический эффект,

заключающийся в формировании кристаллов лактозы на уровне превышающем 100 мкм (АН:КРД:Г в равных соотношениях; КТ:КРД:КМЦ (в равных соотношениях; с преобладающим содержанием КРД и КМЦ); КТ:КРД:Г (в равных соотношениях; с преобладающим содержанием КРД); КТ:КМЦ:Г (в равных соотношениях; с преобладающим содержанием КТ); КРД:КМЦ:Г (в равных соотношениях)).

Для масштабирования полноценного периода кристаллизации лактозы выработаны и заложены на хранение (при температуре 4 ± 2 °С, 100 суток) образцы КМС, стабилизированные пятью наилучшими трехкомпонентными композициями полисахаридов. Данный период хранения выбран исходя из кинетики кристаллообразования лактозы, в соответствии с которой фаза активного роста кристаллов наблюдается в течении 100 дней с момента производства продукта (Виноградова, 2018).

Таблица 5

Результаты изменения динамической вязкости в КМС, стабилизированных многокомпонентными полисахаридными комплексами

№ образца	Динамическая вязкость (Па · с) на 10, 40, 70 и 100 сутки хранения				Индекс восстановления динамической вязкости на 10, 40, 70 и 100 сутки хранения			
	10	40	70	100	10	40	70	100
К	2,2 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,9 ± 0,1	3,1 ± 0,1	0,96	0,95	0,94	0,94
АН:КТ:КРД (№11)	8,2 ± 0,4	8,7 ± 0,4	10,6 ± 0,6	11,2 ± 0,5	0,94	0,94	0,84	0,83
КТ:КМЦ:Г (№19)	6,9 ± 0,3	7,8 ± 0,3	9,2 ± 0,6	9,8 ± 0,5	0,95	0,94	0,93	0,93
КРД:КМЦ:Г (№44)	5,7 ± 0,2	6,6 ± 0,3	10,8 ± 0,6	10,8 ± 0,4	0,96	0,92	0,89	0,88
КРД:КМЦ:Г (№50)	4,7 ± 0,2	5,2 ± 0,3	6,5 ± 0,4	7,7 ± 0,4	0,96	0,92	0,92	0,90
КРД:КМЦ:Г (№20)	6,1 ± 0,3	7,6 ± 0,5	9,4 ± 0,5	10,1 ± 0,5	0,95	0,94	0,89	0,84

Для изучения изменений, происходящих в КМС в процессе хранения, образцы исследовали в реперных точках 10, 40, 70 и 100 суток. В Таблице 5 представлены исследования изменения показателей динамической вязкости в КМС, стабилизированных многокомпонентными полисахаридными комплексами.

Согласно данным, приведенным в Таблице 5, для всех КМС показатели динамической вязкости находились в допустимом диапазоне значений. При этом, динамическая вязкость данных образцов превышала значения динамической вязкости контрольного образца в 3–4 раза. Что касается восстановления структуры после ее механического разрушения, отмечено, что для контрольного образца на 100 сутки показатель практически не изменился, что может свидетельствовать о высоких тиксотропных свойствах системы, обеспечивающихся

белково-углеводным модулем. Следует обратить внимание на аналогичный показатель индекса восстановления динамической вязкости КТ:КМЦ:Г. Способность к восстановлению динамической вязкости после механической нагрузки для остальных систем находилась на более низком уровне.

Показатели активности воды и медианных размеров кристаллов лактозы в исследуемых системах представлены в Таблице 6.

Активность воды контрольного образца и образцов, стабилизированных многокомпонентными полисахаридными комплексами, в течение 100 суток хранения изменялась незначительно, в пределах погрешности метода. В аспекте ингибирования роста кристаллов лактозы установлено, что наилучший эффект достигал

Таблица 6

Результаты измерений активности воды и медианных размеров кристаллов лактозы в КМС, стабилизированных многокомпонентными полисахаридными комплексами

№ образца	Активность воды на 10, 40, 70 и 100 сутки хранения				Средний линейный размер кристаллов лактозы (мкм) на 10, 40, 70 и 100 сутки хранения			
	10	40	70	100	10	40	70	100
К	0,874 ± 0,005	0,868 ± 0,005	0,870 ± 0,005	0,865 ± 0,005	20,9 ± 1,1	96,5 ± 4,8	101,3 ± 5,0	103,7 ± 5,1
АН:КТ:КРД (№11)	0,870 ± 0,005	0,870 ± 0,005	0,866 ± 0,005	0,864 ± 0,005	6,4 ± 0,3	25,6 ± 1,2	33,2 ± 1,3	34,3 ± 1,2
КТ:КМЦ:Г (№19)	0,864 ± 0,005	0,866 ± 0,005	0,860 ± 0,005	0,864 ± 0,005	5,3 ± 0,3	7,4 ± 0,2	10,3 ± 0,5	10,6 ± 0,6
КРД:КМЦ:Г (№44)	0,868 ± 0,005	0,863 ± 0,005	0,863 ± 0,005	0,864 ± 0,005	4,8 ± 0,1	12,0 ± 0,5	11,8 ± 0,4	13,2 ± 0,5
КРД:КМЦ:Г (№50)	0,867 ± 0,005	0,866 ± 0,005	0,862 ± 0,005	0,862 ± 0,005	3,2 ± 0,1	9,0 ± 0,3	10,1 ± 0,5	13,5 ± 0,5
КРД:КМЦ:Г (№20)	0,864 ± 0,005	0,860 ± 0,005	0,862 ± 0,005	0,857 ± 0,005	7,3 ± 0,3	14,5 ± 0,6	20,2 ± 1,1	17,6 ± 0,8

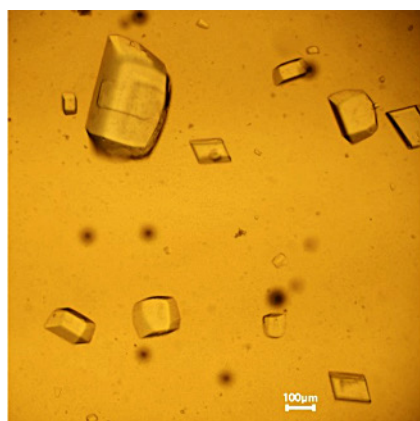
ся при стабилизации КМС системой КТ:КМЦ:Г, размер кристаллов в которой на 100 сутки хранения составил 10,6 мкм, что входит в допустимый диапазон значений и в 10 раз меньше значений контрольного образца. Для образцов под номерами 44 и 50 также установлен эффект сдерживания роста кристаллов. Размеры кристаллов в данных КМС составили 13,2 и 13,5 мкм, соответственно. КМС, стабилизированные системами под номерами 11 и 20, несмотря на ингибирование кристаллизации в краткосрочный период (10 суток), по результатам исследования не показали положительного эффекта в долгосрочный период хранения (100 суток). Таким образом, из результатов Таблицы 6 прослеживается тенденция к существенному замедлению роста кристаллов лактозы для большинства КМС

уже на 70 сутки. Экземплификация кристаллизации лактозы в КМС представлена на Рисунке 3.

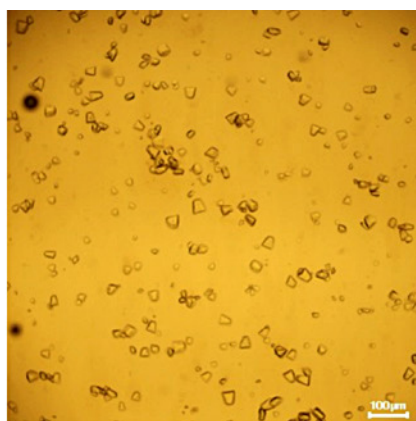
Самые большие кристаллы идентифицированы, как и предполагалось, в контрольном образце со спонтанной кристаллизацией (рисунок 3А), в то время как стабилизация КМС полисахаридными комплексами приводила к изменению профиля кристаллизации лактозы, в частности к образованию большого количества кристаллов, но со значительно меньшими размерами. Наилучшим распределением по размерам кристаллов лактозы характеризовалась система КТ:КМЦ:Г (рисунок 3В). В КМС, стабилизированном КТ:КМЦ:Г, сформировано большое количество мелких дисперсно-распределенных кристаллов, что позволяет судить об участии

Рисунок 3

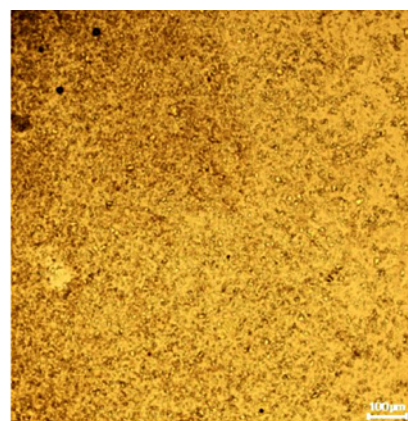
Результаты микроскопирования КМС, стабилизированных многокомпонентными полисахаридными комплексами на 100 сутки хранения



А) К



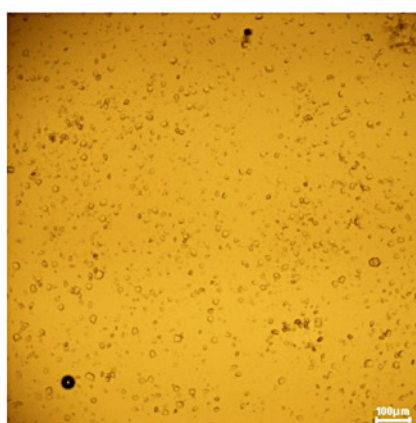
Б) АН:КТ:КРД (№11)



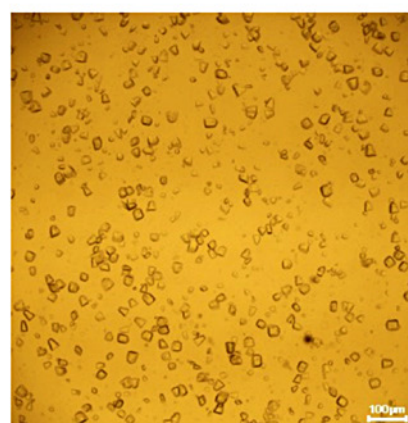
В) КТ:КМЦ:Г (№19)



Г) КРД:КМЦ:Г (№50)



Д) КРД:КМЦ:Г (№44)



Е) КРД:КМЦ:Г (№20)

добавки в процессе зародышеобразования и регулирования спонтанной кристаллизации в продукте. В то же время в системах АН:КТ:КРД и КРД:КМЦ:Г отмечен эффект агломерации кристаллов лактозы, что в конечном счете приведет к органолептически идентифицируемым кристаллам лактозы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные исследования, ассоциированные с изучением реологических свойств и склонности к кристаллизации КМС, стабилизированных отдельными полисахаридами, установили, что в системах НЭП (0,05; 0,1; 0,2 %), АН (0,05 %), КК (0,05–0,2 %), ГК (0,05–0,2 %), Г (0,05 %), КМЦ (0,1–0,15 %) и КТ (0,05; 0,15; 0,2 %) в течение семи суток происходит формирование кристаллов лактозы, размеры которых в среднем превышают 35 мкм. В настоящем исследовании не установлен эффект сдерживания роста кристаллов лактозы в концентрированных молочных системах с сахаром при внесении НЭП и АН, о котором заявлено в работе (Писарева, 2016). Аналогичные данные по предотвращению порока консистенции сгущенных молочных консервов с сахаром «песчанистость», описанные Portnoy (2021) для КК, также не подтверждены нашими исследованиями. Для положительно охарактеризованных в настоящей работе полисахаридов АН, Г, КМЦ, КРД и КТ достоверных данных в научной литературе по их влиянию на кристаллизацию лактозы в концентрированных молочных системах с сахаром не обнаружено. Данная особенность может быть обоснована низкой эффективностью использования отдельных полисахаридов, что также установлено в нашей работе. В связи с этим, большое количество научных трудов последних 10 лет посвящено рассмотрению комплексных добавок и их межмолекулярных взаимодействий, в том числе в молочных продуктах с промежуточной влажностью. Prajapati (2013), Gao (2020), Gorji (2018) описали механизм взаимодействия растительных камедей с полисахаридами иного происхождения, заключающийся в формировании водородных связей между незамещенными радикалами КТ и КРД и гидроксильными группами АН и КМЦ. При этом Варганов (2008) и Косова (2010) подчеркивают возможность использования подобных сочетаний гидроколлоидов в технологии концентрированных молочных продуктов с сахаром. Эти данные подтверждают результаты эмпирических исследований, представленных в нашей статье. Zhaoliang (2019) установлено положи-

тельный эффект при внесении 0,2 % КМЦ в систему, содержащую 1 % АН, ввиду межмолекулярных взаимодействий двух полисахаридов, что также отражено в настоящем исследовании. АН и Г, несмотря на одинаковый отрицательный заряд молекул, также показали положительный эффект при совместном использовании в КМС, заключающийся в формировании устойчивого геля и препятствовании формированию агломератов кристаллов лактозы.

Данные о взаимодействии двух полисахаридов приведены в исследованиях Bayarri (2009) и Takeuchi (2000), описывающих механизм межмолекулярного взаимодействия как формирование электростатических соединений между положительно заряженными фрагментами гуммиарабика и отрицательно заряженными карбоксильными группами альгината натрия. Кроме того, подтверждено слабое межмолекулярное взаимодействие КМЦ и Г, установленное Keogh (1996). При этом, для композиций, содержащих КМЦ и КРД, в ходе исследования детектирован антагонизм. Подобные сведения ранее не представлены в научно-технической литературе, однако, положительный эффект от совместного использования полисахаридов отражен в работе Arbuckle (1986), где автор отмечают ингибирование роста кристаллов льда в мороженом посредством механизма адсорбции гидроколлоидов на поверхности кристалла и препятствования диффузии между фазой пищевой системы, содержащей мелкие кристаллические фрагменты, и поверхностью льда, способствующей увеличению кристалла в размерах. Для КМС аналогичных свойств контролирования кристаллизации лактозы, как в случае кристаллов льда, не установлено, предположительно ввиду значительных различий в составе и коллоидных состояниях матриц мороженого и концентрированной молочной системы с сахаром.

Следует отметить, что настоящая работа проведена с использованием только обезжиренных концентрированных молочных модельных систем. В перспективе представляет интерес изучение свойств полисахаридных комплексов на модельных системах, содержащих жировой компонент животного или растительного происхождения, или их смеси. Ожидаемый результат исследований в данной области позволит усовершенствовать технологию производства и повысить качество молочных консервов с сахаром.

ВЫВОДЫ

В работе представлены данные о влиянии отдельных полисахаридов, а также их комплексов на процесс кристаллизации лактозы в концентрированных молочных системах с сахаром о формировании устойчивой структуры матриц, отражающие способность оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие гидроколлоидов на процесс кристаллизации лактозы и изменения динамической вязкости. Способность ингибировать рост кристаллов молочного сахара показали АН (в концентрации более 0,1 %), Г (в концентрации более 0,1 %), КМЦ (0,2 %), КРД (0,05–0,2 %) и КТ (0,1 %), степень кристаллизации лактозы находилась на сопоставимо схожем уровне в сравнении с контрольным образцом. Также, следует обратить внимание на выявленную в процессе изучения модельных систем способность гуммиарабика повышать структурную устойчивость молочных систем и препятствовать формированию агломератов крупных кристаллов лактозы в концентрированных молочных системах.

На этапе исследования внутрикомпозиционных взаимодействий комплексов полисахаридов и последующем масштабировании процесса кристаллизации лактозы в концентрированных системах с сахаром выделена композиция КТ:КМЦ:Г, проявляющая наиболее

ярко выраженные свойства к ингибированию роста кристаллов лактозы, а также обладающая высокими тиксотропными свойствами и степенью связывания свободной влаги в продукте. В практическом аспекте применение данной добавки для производства сгущенных молочных продуктов с сахаром методом восстановления сухих компонентов может заменить классический процесс внесения затравки мелкокристаллической лактозы, а соответственно снизить энерго- и металлоемкость процесса кристаллизации лактозы в продукте.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Барковская Ирина Александровна: проведение исследования, ресурсы, администрирование данных.

Кручинин Александр Геннадьевич: методология, верификация данных, администрирование данных.

Туровская Светлана Николаевна: администрирование данных.

Илларионова Елена Евгеньевна: проведение исследования, ресурсы.

Большакова Екатерина Ивановна: формальный анализ, верификация данных.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Варганов, В. А. (2008). Стабилизаторы «СТМ». *Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья*, (3), 206–213.
- Varganov, V. A. (2008). Stabilizers "STM". *Current Issues in Meat and Dairy Processing*, (3), 206–213. (In Russ.)
- Виноградова, Ю. В. (2018). Теоретические и практические аспекты процесса кристаллизации лактозы в производстве сгущенных молочных консервов с сахаром. *Молочнохозяйственный вестник*, 3(31), 79–90.
- Vinogradova, Y. V. (2018). Theoretical and practical aspects of lactose crystallization in the production of condensed milk with sugar. *Dairy Industry Bulletin*, 3(31), 79–90. (In Russ.)
- Галстян, А. Г., Илларионова, Е. Е., Радаева, И. А., Туровская, С. Н., Червецов, В. В., & Петров, А. Н. (2012). Новый национальный стандарт на вареное сгущенное молоко с сахаром. *Молочная промышленность*, (8), 36–37.
- Galstyan, A. G., Illarionova, E. E., Radaeva, I. A., Turovskaya, S. N., Chervetsov, V. V., & Petrov, A. N. (2012). New national standard for boiled condensed milk with sugar. *Dairy Industry*, (8), 36–37. (In Russ.)
- Гнездилова, А. И., & Куренкова, Л. А. (2014). Реологические характеристики консервированного молочного продукта со сложным углеводным составом. *Молочнохозяйственный вестник*, 1(13), 56–63.
- Gnezdilova, A. I., Kurenkova, L. A. (2014). Rheological characteristics of canned dairy product with complex carbohydrate composition. *Dairy Industry Bulletin*, 1(13), 56–63. (In Russ.)
- Голубева, Л. В., Пожидаева, Е. А., & Матвиенко, А. А. (2020). Формирование состава молокосодержащих консервов с сахаром. *Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством*, 1(1), 130–133. <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-130-133>
- Golubeva, L. V., Pozhidaeva, E. A., & Matvienko, A. A. (2020). Formation of the composition of milk-containing products

- with sugar. *Current Issues in the Dairy Industry, Intersectoral Technologies, and Quality Management Systems*, 1(1), 130–133. (In Russ.) <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-130-133>
- Косова, И. А. (2010). Молокосодержащий продукт «Мастер Сгущёнов». *Молочная промышленность*, (10), 54–55.
- Kosova, I. A. (2010). Milk-Containing product "Master Sgushchenov". *Dairy Industry*, (10), 54–55. (In Russ.)
- Писарева, Е. В. (2016). Исследование стабилизационных систем для сгущенных молочных консервов. *Ползуновский вестник*, (1), 29–33.
- Pisareva, E. V. (2016). Study of stabilization systems for condensed milk preserves. *Polzunov Journal*, (1), 29–33. (In Russ.)
- Радаева, И. А. Гордeziани, В. С., & Шулькина, С. П. (1986). *Технология молочных консервов и заменителей цельного молока: Справочник*. Агропромиздат.
- Radaeva, I. A., Gordezian, V. S., & Shulkin, S. P. (1986). Technology of dairy preserves and whole milk substitutes: Handbook. Agropromizdat. (In Russ.)
- Радаева, И. А., Илларионова, Е. Е., & Туровская, С. Н. (2020). К вопросу изучения микроструктурных изменений молочных консервов в процессе длительного хранения. *Инновационные технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов: Сборник научных трудов ученых и специалистов к 90-летию ВНИИХ* (с. 445–452). Амирит.
- Radaeva, I. A., Illarionova, E. E., & Turovskaya, S. N. (2020). On the study of microstructural changes in dairy preserves during long-term storage. *Innovative Technologies for Processing and Storing Agricultural Raw Materials and Food Products: Collection of Scientific Papers of Scientists and Specialists on the 90th Anniversary of VNIKH* (pp. 445–452). Amirith. (In Russ.)
- Рябова, А. Е., Галстян, А. Г., Малова, Т. И., Радаева, И. А., & Туровская, С. Н. (2014). К вопросу о гетерогенной кристаллизации лактозы в технологиях сгущенных молочных продуктов с сахаром. *Техника и технология пищевых производств*, 1(32), 78–83.
- Ryabova, A. E., Galstyan, A. G., Malova, T. I., Radaeva, I. A., & Turovskaya, S. N. (2014). On the issue of heterogeneous lactose crystallization in technologies for condensed milk products with sugar. *Engineering and Technology of Food Production*, 1(32), 78–83. (In Russ.)
- Рябова, А. Е., Хуршудян, С. А., Семипятный, В. К. (2018). Совершенствование методологии оценки консистенции продуктов, склонных к спонтанной кристаллизации сахаров. *Пищевая промышленность*, 12, С. 74–76.
- Ryabova, A. E., Khurshudyan, S. A., & Semipyatny, V. K. (2018). Improvement of the methodology for assessing the consistency of products prone to spontaneous sugar crystallization. *Food Industry*, 12, 74–76. (In Russ.)
- Туровская, С. Н., Галстян, А. Г., Петров, А. Н., Радаева, И. А., Илларионова, Е. Е., Семипятный, В. К., & Хуршудян, С. А. (2018). Безопасность молочных консервов как интегральный критерий эффективности их технологии. Российский опыт. *Пищевые системы*, 2(1), 29–54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54>
- Turovskaya, S. N., Galstyan, A. G., Petrov, A. N., Radaeva, I. A., Illarionova, E. E., Semipyatny, V. K., & Khurshudyan, S. A. (2018). The safety of dairy preserves as an integral criterion of their technology efficiency. Russian experience. *Food Systems*, 2(1), 29–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54>
- Фатьянов, Е. В., Царьков, И. В., & Тё, Р. Е. (2011). Влияние водных растворов углеводов на активность воды. *Молочная промышленность*, (12), 52–53.
- Fatyanov, E. V., Tsarkov, I. V., & Tyo, R. E. (2011). The influence of aqueous carbohydrate solutions on water activity. *Dairy Industry*, (12), 52–53. (In Russ.)
- Червецов, В. В., & Гнездилова, А. И. (2011). *Интенсификация процессов кристаллизации при производстве молочных продуктов*. Россельхозакадемия.
- Chervetsov, V. V., & Gnezdilova, A. I. (2011). Intensification of crystallization processes in the production of dairy products. Russian Agricultural Academy. (In Russ.)
- Arbuckle, W. S. (1986). *Ice cream* (4th ed.). Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7222-0>
- Bayarri, S., González-Tomás, L., & Costell, E. (2009). Viscoelastic properties of aqueous and milk systems with carboxymethyl cellulose. *Food Hydrocolloids*, 23(2), 441–450. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.02.002>
- Ben Said, L., Gaudreau, H., Dallaire, L., Tessier, & M., Fliss, I. (2019). Bioprotective culture: A new generation of food additives for the preservation of food quality and safety. *Industrial Biotechnology*, 15(3), 138–147. <https://doi.org/10.1089/ind.2019.29175.lbs>
- Das, D., Linn, S., Sormoli, M. E., & Langrish, T. A. G. (2013). The effects of WPI and Gum Arabic inhibition on the solid-phase crystallisation kinetics of lactose at different concentrations. *Food Research International*, 54(1), 318–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.038>
- Fakhreeva, A. V., Gusakov, V. N., Voloshin, A. I., Tomilov, Y. V., Nifant'ev, N. E., & Dokichev, V. A. (2016). Effect of sodium-carboxymethylcellulose on inhibition of scaling by calcium carbonate and sulfate. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 89(12), 1955–1959. <https://doi.org/10.1134/s1070427216120053>
- Gao, X., Guo, C., Hao, J., Zhao, Z., Long, H., & Li, M. (2020). Adsorption of heavy metal ions by sodium alginate based adsorbent-a review and new perspectives. *International*

- Journal of Biological Macromolecules*, 164, 4423–4434.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.046>
- Ghorbani Gorji, E., Waheed, A., Ludwig, R., Toca-Herrera, J. L., Schleining, G., & Ghorbani Gorji, S. (2018). Complex Coacervation of Milk Proteins with Sodium Alginate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(12), 3210–3220.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03915>
- Keogh, M. K., Lainé, K. I., & O'Connor, J. F. (1996). Rheology of sodium caseinate-carrageenan mixtures. *Journal of Texture Studies*, 26(6), 635–652. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1996.tb00987.x>
- Malkaj, P., Pierri, E., & Dalas, E. (2005). The crystallization of Hydroxyapatite in the presence of sodium alginate. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 16(8), 733–737.
<https://doi.org/10.1007/s10856-005-2610-9>
- Pirsa, S., & Hafezi, K. (2023). Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*, 399, 133967. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133967>
- Portnoy, M., & Barbano, D. M. (2021). Lactose: Use, measurement, and expression of results. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 8314–8325. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18706>
- Prajapati, V. D., Jani, G. K., Moradiya, N. G., Randeria, N. P., Nagar, B. J., Naikwadi, N. N., & Variya, B. C. (2013). Galactomannan: A versatile biodegradable seed polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 60, 83–92.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.05.017>
- Sánchez-García, Y. I., Gutiérrez-Méndez, N., Salmerón, I., Ramos-Sánchez, V. H., Leal-Ramos, M. Y., & Sepúlveda, D. R. (2021). Mutarotation and solubility of lactose as affected by carrageenans. *Food Research International*, 142, 110204. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110204>
- Smykov, I., Gnezdilova, A., Vinogradova, Y., Muzykantova, A., & Lyamina, A. (2019). Cooling curve in production sweetened concentrated milk supplemented with whey: Influence on the size and microstructure of lactose crystals. *Food Science and Technology International*, 25(6), 451–461.
<https://doi.org/10.1177/1082013219830494>
- Sutton, R. L., & Wilcox, J. (1998). Recrystallization in model ice cream solutions as affected by stabilizer concentration. *Journal of Food Science*, 63(1), 9–11.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15663.x>
- Takeuchi, H., Yasuji, T., Yamamoto, H., & Kawashima, Y. (2000). Temperature- and Moisture-Induced Crystallization of Amorphous Lactose in Composite Particles with Sodium Alginate Prepared by Spray-Drying. *Pharmaceutical Development and Technology*, 5(3), 355–363.
<https://doi.org/10.1081/pdt-100100551>

Влияние ультрафиолетового излучения на физико-механические и структурные характеристики биоразлагаемого полимерного материала на основе полилактида и поли(бутиленадипат-ко-терефталата) при компостном хранении

Д. М. Мясенко, О. Б. Федотова, А. А. Агарков

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

Корреспонденция:

Дмитрий Михайлович
Мясенко,
E-mail: d_myalenko@vnimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Финансирование:

Исследования проведены в рамках государственного задания министерства науки и высшего образования Российской Федерации FNSS-2022-0005 «Развитие научных принципов глубокой переработки и обеспечения длительного хранения молочного сырья и продукции с применением малоотходных ресурсосберегающих технологий».

Поступила: 23.06.2023

Принята: 15.12.2023

Опубликована: 30.12.2023

Copyright: © 2023 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение: Использование биоразлагаемой упаковки в качестве альтернативы упаковке из традиционных полимерных материалов, позволит сократить количество синтетических полимеров, что приведет к уменьшению негативного воздействия на окружающую среду. Исследования в этом направлении, в основном, направлены на анализ скорости деградации таких материалов, при этом влияние внешних факторов на разлагаемые пластики, таких как облучение, тепловая или ультразвуковая обработка перед закладкой их на компостное хранение изучена недостаточно.

Цель: Изучение влияния ультрафиолетового (УФ) излучения на изменения физико-механических и морфологических свойств композиции биоразлагаемого композитного материала на основе полилактида (PLA) и поли(бутиленадипат-ко-терефталата) (PBAT) при компостном лабораторном хранении.

Материалы и методы: Объекты исследований — полимерные биоразлагаемые пленки на основе смеси PLA и PBAT. Изменение прочностных показателей проводили по ГОСТ 14236-2017. Размер частиц определяли методом светлого поля на микроскопе Axio Lab. A1 с оптикой Axiosam 105 color. Регистрация ИК-спектров проведена на макромодуле ИК-Фурье спектрометра-микроскопа Bruker Lumos (Германия). Анализ поверхности образцов проведен на растровом электронном микроскопе Vega 3 (Tescan, Чехия).

Результаты: Облучение материала перед помещением в грунт приводит к ускорению процесса деградации: на 23,3 % быстрее уменьшается прочность при разрыве материала и на 70,0 % уменьшается прочность сварных швов. Анализ структуры поверхности материала после 120 суток хранения в компосте показал ее существенные изменения: на поверхности наблюдались многочисленные трещины, уходящие в глубь материала практически по всей поверхности.

Выводы: Полученные данные по изменению структуры поверхности исследуемых образцов после воздействия на них УФ излучения свидетельствуют о динамично протекающих процессах разложения, что создает реальную перспективу минимизации экологических рисков в сегменте охраны окружающей среды, связанной с утилизацией упаковки.

Ключевые слова: биоразлагаемые материалы, деструкция, ультрафиолет, компостирование



Для цитирования: Мясенко, Д.М., Федотова, О.Б., & Агарков, А.А. (2023). Исследование влияния ультрафиолетового излучения на физико-механические и структурные характеристики биоразлагаемого полимерного материала на основе полилактида и поли(бутиленадипат-ко-терефталата) при компостном хранении. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 28-38. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.27>

The Ultraviolet Radiation Influence on the Physical-Mechanical and Structural Characteristics of a Biodegradable Polymeric Material Based on Polylactide and Poly(butylene adipate-co-terephthalate) during Compost Storage

Dmitriy M. Myalenko, Olga B. Fedotova, Aleksandr A. Agarkov

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

Correspondence:

Dmitriy M. Myalenko,
E-mail: d_myalenko@vniimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Foundation:

The research was conducted as part of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FNSS-2022-0005 "Development of scientific principles for deep processing and long-term storage of dairy raw materials and products using low-waste resource-saving technologies."

Received: 23.06.2023

Accepted: 15.12.2023

Published: 30.12.2023

Copyright: © 2023 The Authors

ABSTRACT

Introduction: The use of biodegradable packaging as an alternative to traditional polymer materials will reduce the amount of synthetic polymers, leading to a decrease in negative environmental impact. Research in this direction is mainly focused on analyzing the rate of degradation of such materials. However, the influence of external factors on degradable plastics, such as radiation, thermal or ultrasonic treatment, before composting storage, is insufficiently studied.

Purpose: To study the impact of ultraviolet (UV) radiation on the changes in the physical-mechanical and morphological properties of a biodegradable compound material based on polylactide (PLA) and poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) during laboratory compost storage.

Materials and Methods: The purpose of the research was biodegradable polymer films based on a mixture of PLA and PBAT. Changes in strength indicators were conducted according to GOST 14236-2017. Particle size was determined by the bright field method on an Axio Lab. A1 microscope with Axiocam 105 color optics. IR spectra registration was performed on a macro module of the IR-Fourier spectrometer-microscope Bruker Lumos (Germany). Surface analysis of the samples was conducted on a Vega 3 scanning electron microscope (Tescan, Czech Republic).

Results: Irradiation of the material before placement in the soil leads to an acceleration of the degradation process: the strength at break of the material decreases by 23.3% faster, and the strength of the welded seams decreases by 70.0%. The analysis of the surface structure of the material after 120 days of storage in compost showed significant changes: numerous cracks were observed on the surface, extending deep into the material almost across the entire surface.

Conclusion: The obtained data on the change in the surface structure of the samples after exposure to UV radiation indicates dynamically occurring decomposition processes, creating a real perspective for minimizing environmental risks in the segment of environmental protection related to packaging disposal.

Keywords: biodegradable materials, destruction, ultraviolet, composting



To cite: Myalenko, D.M., Fedotova, O.B., & Agarkov, A.A. (2023). The ultraviolet radiation influence on the physical-mechanical and structural characteristics of a biodegradable polymeric material based on Polylactide and Poly(butylene adipate-co-terephthalate) during compost storage. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 28-38. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.27>

Д. М. Мяленко, О. Б. Федотова, А. А. Агарков

ВВЕДЕНИЕ

Темпы производства и применения полимерной упаковки в различных областях промышленности сопровождаются серьезной проблемой правильной переработки и утилизации большого скопления полимерных отходов, которые образуются после окончания жизненного цикла упакованной продукции и оказывают негативное влияние на окружающую среду¹. Среди основных подходов, способных минимизировать образование большого количества отходов, можно выделить: освоение и совершенствование малоотходных технологий производства², применение биологически разлагаемых материалов и композиций на их основе³, модернизация процессов сбора, сортировки и переработки отходов, использование отходов полимерного производства как вторичного сырья для переработки и пр. (Reichert et al., 2020). Наиболее активно развивается направление создания и использования биоразлагаемых полимеров, которые быстро деградируют под воздействием факторов окружающей среды и микроорганизмов (Jian et al., 2020).

Разработкой биоразлагаемых упаковочных материалов для продуктов питания занимаются ученые всего мира (Van Velzen, 2016; Гарифулина и соавт., 2019; Ольхов, 2015; Саликов, 2014), однако идеального решения указанной проблемы пока нет. Для молочной промышленности ситуация с упаковкой является еще более острой (Кобзева & Юрова, 2016; Кручинин 2023; Пряничникова 2020а). Молоко — это живая сложносоставная система с различной кислотностью (Радаева и соавт., 2019; Юрова, 2019, 2020) и комплексом биохимических свойств, которые в процессе хранения могут оказывать негативное влияние на сохранность продукта в биоразлагаемых композициях (Van Velzen, 2016) (Ailes & Abigail, 2013; Brdlík, 2022; Kiruthika, 2022; van den Oever & Molenveld, 2017; Пряничникова, 2020b). Поэтому для сохранности продукции на всем ее жизненном цикле к упаковочным материалам применяются требования к ряду физико-химических, микробиологических, санитарно-гигиенических и эксплуатационных характеристик, способных

существенно ограничить применение биополимеров в качестве пищевой упаковки.

Среди самых распространенных на данный момент коммерческих биополимеров можно выделить: полимолочная кислота (PLA), полибутиленсукцинат (PBS), полибутиленсукцинат адипат (PBSA), полигидроксикарбоксилаты (PHA), поли(бутиленадипат-ко-терефталат) (PBAT), полигидроксипропанат-со-гидроксивалерат (PHBV). Существуют и их различные компаунды на их основе (Ailes & 2013; Brdlík, 2022; Kiruthika, 2022; van den Oever & Molenveld, 2017). Введение различных функциональных компонентов в полимерную основу может служить дополнительными факторами риска при обеспечении качества и безопасности упакованной продукции (Barron & Sparks, 2020; Dilkes-Hoffman et al., 2019; Lunt, 1998; Puchalski et al., 2018). Это особенно актуально для продукции функциональной направленности и детского питания (Barron & Sparks, 2020; Ponjavic et al., 2023; Puchalski et al., 2018; Пряничникова, 2020b). Придание функциональных свойств полимерным пленкам, предназначенным для пищевой упаковки, позволит снизить риски повторного обсеменения в процессе упаковывания (Фильчакова, 2008; Фильчакова, 2008), а также сохранить продукцию на всем ее жизненном цикле.

Важную роль в механизме биоразложения играют факторы окружающей среды — внешнего физического, термического, фотометрического воздействия (Van Velzen, 2016). Так, например, на скорость деградации PLA оказывает существенное влияние повышенная температура в пределах 50–70 °C, которую не всегда удаётся соблюдать в условиях бытового компостирования. Процесс термодеструкции можно выразить аналитически с использованием уравнения Аррениуса, которое учитывает влияние теплового воздействия на скорость распада полимерных связей (Kalita et al., 2020; Weng et al., 2013). Воздействие высоких температур на PLA запускает процессы термохимической деструкции с разрушением связей, которые достигают равновесного значения. Воздействие на полимер УФ облучения может ускорить его старение за счет изменения микроструктуры в виде разрыва цепи (Gewert et al., 2018; Lee et al., 2014) и сшивания (Dobrov et al., 1989; Lee et al., 2014;

¹ Take Action for the Sustainable Development Goals — United Nations Sustainable Development. (n.d.). Retrieved May 11, 2022, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

² Impact through research: applied research for Europe's future. (n.d.). Retrieved May 11, 2022, from <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2018/november/the-rto-summit.html>

³ European Bioplastics EV. (2018). *European bioplastic. The Plastics Strategy — the contribution of bioplastics to a sustainable plastics circular economy.*

Miranda et al., 2001; Oster et al., 1959). Например, молекулярные массы полиэтилена (ПЭ), полистирола (ПС) и полиметилметакрилата (ПММА) уменьшаются после УФ облучения, что приводит к потере его механической прочности (Yousif & Haddad, 2013) produces free radical and reduces the molecular weight, causing deterioration of mechanical properties and leading to useless materials, after an unpredictable time. Polystyrene (PS. В основе старения полимеров, вызванного УФ-излучением, лежит фотоокислительная деградация, приводящая к образованию свободных радикалов (Yousif, 2013; Заиков, 2000).

Вопросы влияния облучения на полимерные композиции изучены довольно глубоко (Tertyshnaya & Podzorova, 2020; Заиков, 2000), в то время как механизмы разрушения биополимеров при воздействии УФ излучения рассмотрены недостаточно. Gardette (2011) рассмотрел два механизма фотодегradации PLA. Один из них включает расщепление цепи и образование двойных углерод-углеродных связей (СС двойная связь) и гидропероксидной группы (О–О–Н) на вновь образованных концах цепи. Другой механизм основан на радикальном окислении с образованием ангидридов и гидропероксидов (Bocchi et al., 2010; Janorkar et al., 2007).

Цель данной статьи: описать влияние УФ излучения на физико-механические и структурные характеристики биоразлагаемого полимерного материала на основе полилактида и поли(бутиленадипат-ко-терефталата) при компостном хранении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

В работе в качестве объектов исследований были выбраны полимерные биоразлагаемые пленки на основе смеси PLA и PBAT (CO—PLAS Bio 1002) ООО «Евротек» (Россия). Данная композиция представляет разработанный в соответствии с ГОСТ EN 13432–2015¹ (IDT EN 13432:2000) биополимерный компаунд с высокой термостабильностью, прочностью и газопроницаемостью. Толщина биоразлагаемой пленки составляла 20 мкм. Биополимерный компаунд CO—PLAS Bio 1002 перерабатывается на стандартных пленочных экструдерах с раздувом и формующей головкой для производства

пленки LDPE. Температура переработки составляет 140–165 °С. Режимы переработки данного компаунда совпадают с рекомендуемыми температурами экструзии полиэтилена, что позволяет перерабатывать биоразлагаемый материал на традиционном оборудовании без существенных изменений технологических параметров.

Оборудование и процедура исследования

Подготовка компоста осуществлялась в лабораторных условиях с использованием почвенной смеси, содержащей азот (не менее 230 мг/л), фосфор (не менее 300 мг/л), калий (не менее 350 мг/л) и ускоритель компостобразования, в состав которых входят не менее 30 % пшеничных отрубей, 5 % натрия двууглекислого и почвенные микроорганизмы. Температурные условия эксперимента составляли 20 ± 2 °С, влажность 65–80 %.

Облучение поверхности материала проводили на экспериментальном макетном стенде непосредственно перед закладкой на компостное хранение. В качестве источника излучения была использована бактерицидная лампа TUV 15W/G 15 T8 LONG LIFE фирмы Philips (Голландия). Нами был выбран режим облучения: расстояние от лампы до поверхности материала 15 см, длительность облучения 24 часа.

В качестве контролируемых физико-механических показателей были выбраны прочность при разрыве (МПа) и относительное удлинение при разрыве (%). Испытания проводили на универсальной испытательной машине Shimadzu EZ-LX (Япония) в двух направлениях: продольном и поперечном по ГОСТ 14236–2017 (ISO 527–2:2012). Максимальная мощность установленного датчика силы составляет 2000Н, длина хода traversы составляет 920 мм. Для проведения расчетов применялось профессиональное программное обеспечение «TRAPEZIUM X» (Shimadzu Япония). Количество проведенных серий эксперимента: — 3; количество повторностей в серии — 10.

Анализ поверхности биоразлагаемых пленок до и после компостирования проводили на растровом электронном микроскопе Vega 3 (Tescan, Чехия) (SEM) Перед исследованием образцы покрывали платиной толщиной ~ 20 нм.

¹ ГОСТ EN 13432–2015 — Упаковка. Требования к использованию упаковки посредством компостирования и биологического разложения. Проверочная схема и критерии оценки для распределения упаковок по категориям.

Д. М. Мяленко, О. Б. Федотова, А. А. Агарков

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Визуальная оценка внешнего вида

Внешний вид образцов до и после облучения представлен на Рисунке 1. Образцы биоразлагаемых пленок на основе PLA и PBAT до облучения имеют гладкую, матовую поверхность, полупрозрачные, без блеска. Образец после облучения УФ в течении 24 часов визуально дефектов не имеет, сохраняется эластичность. Облученные материалы имеют более выраженные физические дефекты: поверхность рыхлая, шершавая, наблюдаются в большом количестве разрывы материала. При срав-

нении с необлучённым образцом отмечается повышенная хрупкость. Образцы, не подвергнутые облучению, после 120 суток компостного хранения, стали более мутными и шероховатыми. На поверхности заметны проколы и трещины, приводящие к ухудшению прочностных показателей.

Физико-механические исследования

Оценку влияния УФ-излучения на динамику протекания деструктивных процессов биоразлагаемой пленки на основе PLA/PBAT в компосте проводили по изменению физико-механических показателей (δ , МПа и ϵ , %). Результаты представлены на Рисунках 2, 3 и 4.

Рисунок 1

Визуальное исследование поверхности образцов до и после облучения

Пленка PLA/PBAT до компостирования



Пленка PLA/PBAT после 120 суток



Пленка PLA/PBAT УФ облученная до компостирования



Пленка PLA/PBAT УФ облученная после 120 дней компостирования



Рисунок 2

Динамика изменения прочности при разрыве образцов пленки PLA/PBAT при компостном хранении в течение 120 суток

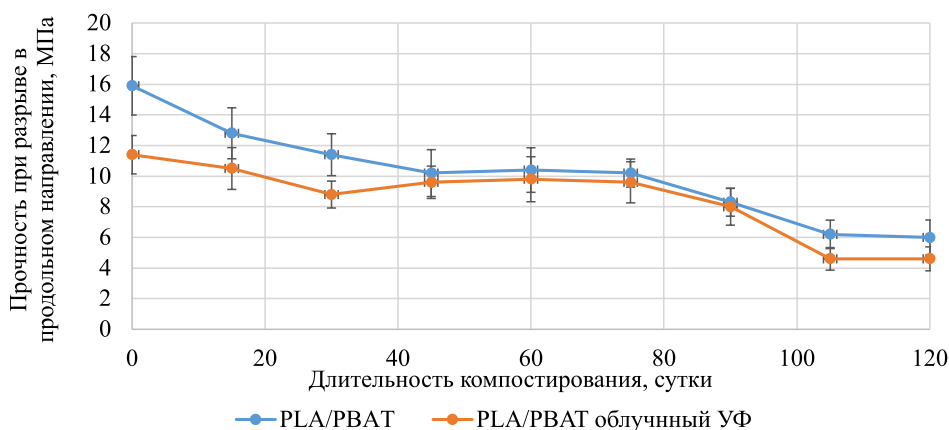


Рисунок 3

Динамика изменения относительного удлинения при разрыве образцов пленки PLA/PBAT при компостном хранении в течение 120 суток

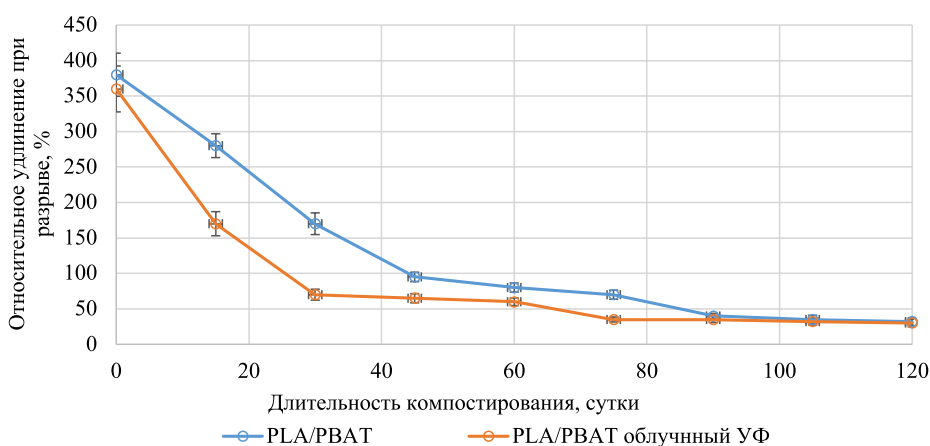
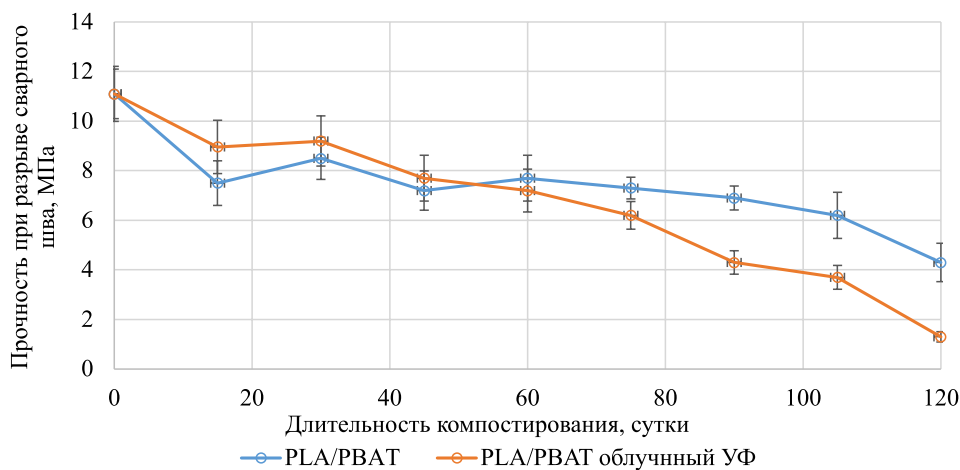


Рисунок 4

Динамика изменения прочности при разрыве сварного шва образцов PLA/PBAT



Д. М. Мяленко, О. Б. Федотова, А. А. Агарков

Анализ полученных результатов показал, что характер изменения прочностных показателей у облученных и необлученных материалов уменьшается за 120 суток компостного хранения на 60,4–62,3% по сравнению с начальным контрольным измерением перед закладкой на хранение.

Относительное удлинение при разрыве облученных и необлученных материалов меняется очень резко. Уже к 30 суткам хранения происходит уменьшение показателя в 2,2 раза у необлученной пленки и в 5,4 раза у образцов после облучения. Как видно из представленных на рисунке данных, после резкого падения показателя «относительное удлинение при разрыве, %» наблюдается некоторая стабилизация. Dammak et al. (2020), Kalita et al. (2020), Aversa et al. (2022), Weng et al. (2013) и Wang et al. (2022) отметили аналогичный эффект, который связали с тем, что под воздействием почвенных микроорганизмов при компостировании процесс разрушения макромолекул PLA протекает с образованием цепочек одинакового размера. Начиная с 45 суток компостирования, наблюдается так называемое равновесие, при котором разложение материала протекает относительно медленно.

Gardette et al. (2011) наблюдали быстрое снижение поглощения УФ-облученного PLA между 250 и 400 нм в течение

первых 20 часов УФ-облучения. Это объясняется разрывами цепей PLA, активированными фотоокислением и, как следствие, падением прочностных характеристик.

Прочностные характеристики сварных соединений изменяются по аналогичной с прочностью материала закономерностью. После 60 суток компостного хранения у всех образцов наблюдается падение прочности сварного шва и к концу 120 суток она составляет 2,6 раза для необлученных образцов и 8,5 раз для образцов после обработки УФ излучением.

На 90 сутки у облученного образца PLA/PBAT наблюдали резкое падение показателя прочности сварного шва, что коррелирует с полученными данными о прочности материала.

Структурно-морфологические исследования

Для оценки изменений поверхности опытных образцов биоразлагаемых материалов после выдержки в компосте были проведены структурно-морфологические исследования. Результаты исследований поверхности материала состава PLA/PBAT без облучения и после воздействия УФ — излучения представлены на Рисунках 5–6.

Рисунок 5

Результаты сканирующей электронной микроскопии поверхности пленки состава PLA/PBAT до помещения в компост; (а) без УФ облучения; (б) после УФ облучения

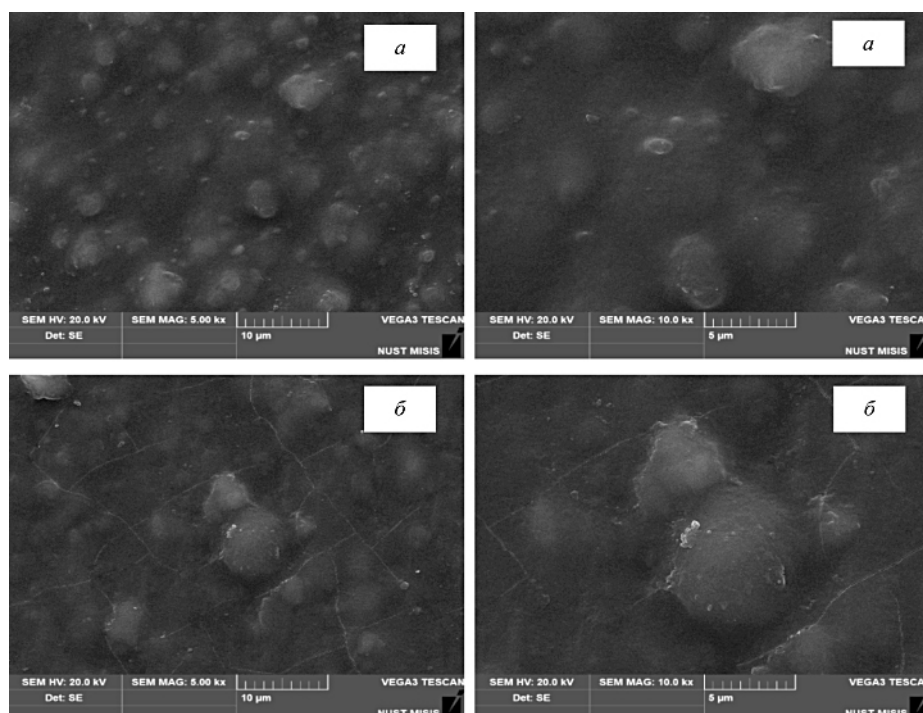
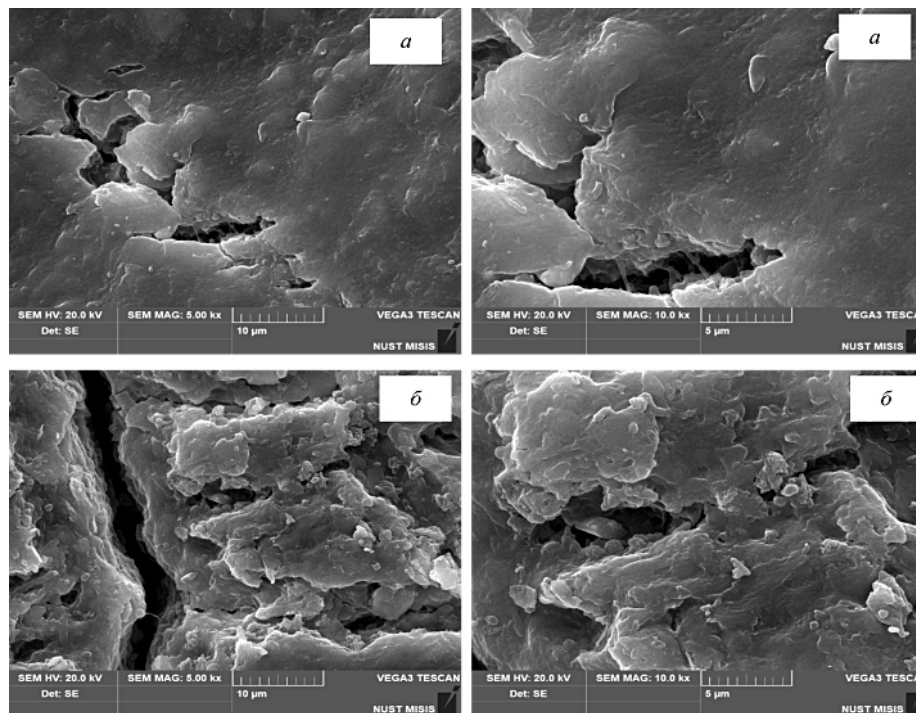


Рисунок 6

Результаты сканирующей электронной микроскопии поверхности пленки состава PLA/PBAT после 4 месяцев в компосте: (а) без УФ-облучения; (б) после УФ-облучения



Анализ поверхности материала свидетельствует о значительных изменениях в его структуре после хранения в компосте в течение 4 месяцев. Исследованные опытные биоразлагаемые пленки представляют собой смешанной неоднородный компанд.

Структурные исследования, проведенные перед закладкой на компостное хранение, показали, что с увеличением кратности изображения на поверхности заметны микротрещины, не уходящие в глубь материала и не влияющие на прочностные характеристики, что подтверждается результатами физико-механических испытаний. Аналогичная картина наблюдается при исследовании SEM поверхности материала после обработки УФ излучением. Существенных изменений в структуре поверхностных слоев не наблюдается.

После хранения образцов в компосте в течение 4 месяцев заметны существенные изменения. На поверхности материала до и после обработки УФ излучением наблюдаются многочисленные трещины, уходящие вглубь материала. Трещины имеют мицеллярную структуру, что объясняется разнородным составом материала. Со-

гласно литературным данным PLA начинает активно разрушаться при повышенной влажности и температуре более 50°C, тогда как PBAT начинает разрушаться при более низких температурах (Aversa et al., 2022; Kalita et al., 2020; Weng et al., 2013). При увеличении в 5000 раз на поверхности материала заметны углубления и рытвины, которые как раз и свидетельствуют о различной скорости разрушения компонентов, входящих в состав пленки. Полученные данные хорошо коррелируют с результатами физико-механических испытаний и с данными ученых проводивших похожие исследования (Janczak, 2020; Weng, 2013). В зависимости от условий компостирования и состава полимерного материала динамика биodeградации отличается, но общая тенденция сохраняется (Janczak 2020; Kale et al., 2007).

Анализ полученных результатов за 120 суток хранения образцов в компосте показывает перспективность его применения в качестве биоразлагаемой упаковки.

Д. М. Мясенко, О. Б. Федотова, А. А. Агарков

ВЫВОДЫ

УФ облучение материала перед помещением в грунт приводит к ускорению процесса деградации биоразлагаемой пленки PLA/PBAT по сравнению с необлученным материалом: на 23,3 % быстрее уменьшается прочность при разрыве материала и на 70,0 % уменьшается прочность сварных швов.

Результаты исследований поверхности материала методом сканирующей электронной микроскопии поверхности материала после 120 суток хранения в компосте показали существенные изменения: на поверхности биоразлагаемых пленок наблюдались многочисленные трещины, уходящие в глубь материала практически по всей поверхности. Полученные данные хорошо коррелируют с результатами физико-механических испытаний. Показано, что полимеры, входящие в состав исследованного компаунда, разлагаются с разной скоростью, тем не менее, суммарный эффект свидетельствует об ускоренной биodeградации материала в том числе усиливающийся при УФ облучении.

Полученные результаты комплексных физико-механических испытаний полимерной биоразлагаемой пленки показывают ее перспективность для применения в качестве альтернативной полимерной упаковки для мо-

лочной и пищевой продукции с небольшими сроками хранения, а способность PLA/PBAT к биodeградации в условиях окружающей среды позволит существенно улучшить экологическую обстановку в России.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Мясенко Дмитрий Михайлович: формулирование идеи, формулирование исследовательских целей и задач, проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов или сбор данных/доказательств, подготовка и создание черновика рукописи, в частности, написание первоначального текста рукописи, подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, включая этапы до или после публикации рукописи.

Федотова Ольга Борисовна: формулирование идеи, формулирование исследовательских целей и задач, надзор и руководство за планированием и выполнением исследовательской деятельности, включая наставничество.

Агарков Александр Александрович: проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов или сбор данных/доказательств, визуализация/представление данных.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Гарифулина, Л.И., Ли, Н. И., Гарипов, Р. М., & Миннахметова, А. К. (2019). Биоразложение полимерных пленочных материалов (обзор). *Вестник Технологического Университета*, 22(1), 47–53.
- Garifulina, L.I., Li, N. I., Garipov, R. M., & Minnakhmetova, A. K. (2019). Biodegradation of polymer film materials (review). *Bulletin of the Technological University*, 22(1), 47–53. (In Russ.)
- Заиков, Г.Е. (2000). Почему стареют полимеры. *Соросовский образовательный журнал*, 12, 48–55.
- Zaikov, G.E. (2000). Why polymers age. *Soros Educational Journal*, 12, 48–55. (In Russ.)
- Кобзева, Т.В., & Юрова, Е. А. (2016). Оценка показателей качества и идентификационных характеристик сухого молока. *Молочная промышленность*, 3, 32–35.
- Kobzeva, T.V., Yurova, E. A. (2016). Evaluation of quality indicators and identification characteristics of dry milk. *Dairy Industry*, 3, 32–35. (In Russ.)
- Кручинин, А.Г., Илларионова, Е.Е., Туровская, С.Н., & Бигаева, А. В. (2023). Исследование влияния белкового профиля на структурно-механические параметры молочных биосистем с промежуточной влажностью. *Food Processing Industry*, 1, 59–62. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.1.1.017>
- Kruchinin, A.G., Illarionova, E.E., Turovskaya, S.N., & Bigaeva, A. V. (2023). Study of the influence of the protein profile on the structural-mechanical parameters of dairy biosystems with intermediate moisture. *Food Processing Industry*, 1, 59–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.1.1.017>
- Ольхов, А.А. (2015). Перспективные биоматериалы на основе полигидроксibuтирата и двойного этиленпропиленового сополимера для транспорта физиологических сред: фазовая структура. *Перспективные материалы*, 10, 56–63.
- Olkhov, A.A. (2015). Prospective biomaterials based on polyhydroxybutyrate and the double ethylene-propylene copolymer for the transport of physiological media: Phase structure. *Advanced Materials*, 10, 56–63. (In Russ.)

- Пряничникова, Н.С. (2020а). Защитные покрытия для пищевых продуктов. Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности (том 2, с. 86–89). Пятигорск.
- Pryanichnikova, N.S. (2020a). Protective coatings for food products. Modern achievements in biotechnology. Techniques, technologies and packaging for the implementation of innovative projects in the food and biotechnology industries (vol. 2, pp. 86–89). Pyatigorsk. (In Russ.)
- Пряничникова, Н.С. (2020b). Съедобная упаковка: транспорт для функциональных и биоактивных соединений. *Молочная Река*, 4(80), 32–34.
- Pryanichnikova, N.S. (2020b). Edible packaging: Transport for functional and bioactive compounds. *Dairy River*, 4(80), 32–34. (In Russ.)
- Радаева, И.А., Радаева, И. А., Илларионова, Е. Е., Туровская, С. Н., Рябова, А. Е., & Галстян, А. Г. (2019). Принципы обеспечения качества отечественного сухого молока. *Пищевая промышленность*, 9, 54–57. <http://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10145>
- Radaeva, I.A., Radaeva, I. A., Illarionova, E. E., Turovskaya, S. N., Ryabova, A. E., & Galstyan, A. G. (2019). Principles of quality assurance of domestic dry milk. *Food Industry*, 9, 54–57. (In Russ.) <http://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10145>
- Саликов П.Ю. (2014). Пиролизная утилизация использованных изделий из полиэтилентерефталата. *Экология и промышленность России*, 3, 16–20.
- Salikov, P.Yu. (2014). Pyrolytic disposal of used polyethylene terephthalate products. *Ecology and Industry of Russia*, 3, 16–20. (In Russ.)
- Фильчакова С. А. (2008). *Санитария и гигиена на предприятиях молочной промышленности*. ДеЛи принт.
- Filchakova, S. A. (2008). *Sanitation and hygiene at dairy industry enterprises*. DeLi print. (In Russ.)
- Фильчакова, С.А. (2008). Микробиологическая чистота упаковки для молочных продуктов. *Молочная промышленность*, 7, 44–46.
- Filchakova, S.A. (2008). Microbiological purity of packaging for dairy products. *Dairy Industry*, 7, 44–46. (In Russ.)
- Юрова, Е.А. (2019). Оценка качества и хранимостпособности молочных продуктов функциональной направленности. *Milk Branch Magazine*, 10, 6–11. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-10-6-10>
- Yurova, E.A. (2019). Evaluation of quality and shelf life of functional dairy products. *Milk Branch Magazine*, 10, 6–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-10-6-10>
- Юрова, Е.А. (2020). Особенность определения содержания витамина Е (токоферолов) в молочных продуктах функциональной направленности. *Продовольственная безопасность*, 12, 36–39. <http://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10141>
- Yurova, E.A. (2020). Specifics of determining the content of vitamin E (tocopherols) in functional dairy products. *Food Safety*, 12, 36–39. (In Russ.) <http://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10141>
- Ailes, A., & Abigail, N. M. (2013). Expanding bioplastics: Sustainable business innovation in the chemical industry. *Journal of Cleaner Production* 45, 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.008>
- Aversa, C., Barletta, M., Cappiello, G., & Gisario, A. (2022). Compatibilization strategies and analysis of morphological features of poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT)/poly(lactic acid) PLA blends: A state-of-art review. *European Polymer Journal*, 173, 111304. <https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2022.111304>
- Barron, A., & Sparks, T. D. (2020). Commercial marine-degradable polymers for flexible packaging. *IScience*, 23(8). <https://doi.org/10.1016/J.ISCI.2020.101353>
- Bocchini, S., Fukushima, K., Blasio, A. Di, Fina, A., Frache, A., & Geobaldo, F. (2010). Polylactic acid and polylactic acid-based nanocomposite photooxidation. *Biomacromolecules*, 11(11), 2919–2926. <https://doi.org/10.1021/bm1006773>
- Brdlík, P., Borůvka, M., Běhálek, L., & Lenfeld, P. (2022). The influence of additives and environment on biodegradation of PHBV biocomposites. *Polymers*, 14(4), 838. <https://doi.org/10.3390/polym14040838>
- Dammak, M., Fourati, Y., Tarrés, Q., Delgado-Aguilar, M., Mutjé, P., & Boufi, S. (2020). Blends of PBAT with plasticized starch for packaging applications: Mechanical properties, rheological behaviour and biodegradability. *Industrial Crops and Products*, 144, 112061. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.112061>
- Dilkes-Hoffman, L. S., Lant, P. A., Laycock, B., & Pratt, S. (2019). The rate of biodegradation of PHA bioplastics in the marine environment: A meta-study. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 15–24. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2019.03.020>
- Dobrov, E.N., Arbieva, Z. K., Timofeeva, E. K., Esenaliev, R. O., Oraevsky, A. A., & Nikogosyan, D. N. (1989). UV Laser induced rna-protein crosslinks and rna chain breaks in tobacco mosaic virus RNA in situ. *Photochemistry and Photobiology*, 49(5), 595–598. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1989.tb08429.x>
- Gardette, M., Thérias, S., Gardette, J.-L., Murariu, M., & Dubois, P. (2011). Photooxidation of polylactide/calcium sulphate composites. *Polymer Degradation and Stability*, 96(4), 616–623. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.023>
- Gewert, B., Plassmann, M., Sandblom, O., & Macleod, M. (2018). Identification of chain scission products released to water by plastic exposed to ultraviolet light.

- Environmental Science and Technology Letters*, 5(5), 272–276. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.8b00119>
- Janczak, K., Dąbrowska, G. B., Raszkowska-Kaczor, A., Kaczor, D., Hryniewicz, K., & Richert, A. (2020). Biodegradation of the plastics PLA and PET in cultivated soil with the participation of microorganisms and plants. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 155, 105087. <https://doi.org/10.1016/J.IBIOD.2020.105087>
- Janorkar, A. V., Metters, A. T., & Hirt, D. E. (2007). Degradation of poly(L-lactide) films under ultraviolet-induced photografting and sterilization conditions. *Journal of Applied Polymer Science*, 106(2), 1042–1047. <https://doi.org/10.1002/app.24692>
- Jian, J., Xiangbin, Z., & Xianbo, H. (2020). An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene-adipate-co-terephthalate)–PBAT. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(1), 19–26. <https://doi.org/10.1016/J.AIEPR.2020.01.001>
- Kale, G., Auras, R., & Singh, S. P. (2007). Comparison of the degradability of poly(lactide) packages in composting and ambient exposure conditions. *Packaging Technology and Science*, 20(1), 49–70. <https://doi.org/10.1002/PTS.742>
- Kale, G., Auras, R., Singh, S. P., & Narayan, R. (2007). Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions. *Polymer Testing*, 26(8), 1049–1061. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2007.07.006>
- Kalita, N. K., Bhasney, S. M., Mudenur, C., Kalamdhad, A., & Katiyar, V. (2020). End-of-life evaluation and biodegradation of Poly(lactic acid) (PLA)/Polycaprolactone (PCL)/Microcrystalline cellulose (MCC) polyblends under composting conditions. *Chemosphere*, 247, 125875. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.125875>
- Kiruthika, A. V. (2022). PHBV based blends and composites. In *Biodegradable Polymers, blends and composites* (pp. 283–308). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823791-5.00008-9>
- Lee, J., Maddipatla, M. V. S. N., Joy, A., & Vogt, B. D. (2014). Kinetics of UV irradiation induced chain scission and cross-linking of coumarin-containing polyester ultrathin films. *Macromolecules*, 47(9), 2891–2898.
- Lunt, J. (1998). Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers. *Polym. Degrad. Stab.*, 59, 145–152. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(97\)00148-1](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(97)00148-1)
- Miranda, T. M. R., Gonçalves, A. R., & Amorim, M. T. P. (2001). Ultraviolet-induced crosslinking of poly(vinyl alcohol) evaluated by principal component analysis of FTIR spectra. *Polymer International*, 50(10), 1068–1072. <https://doi.org/10.1002/pi.745>
- Oster, G., Oster, G. K., & Moroson, H. (1959). Ultraviolet induced crosslinking and grafting of solid high polymers. *Journal of Polymer Science*, 34(127), 671–684. <https://doi.org/10.1002/pol.1959.1203412744>
- Ponjavic, M., Malagurski, I., Lazic, J., Jeremic, S., Pavlovic, V., Prlainovic, N., Maksimovic, V., Cosovic, V., Atanase, L. I., Freitas, F., Matos, M., & Nikodinovic-Runic, J. (2023). Advancing PHBV biomedical potential with the incorporation of bacterial biopigment prodigiosin. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 1906. <https://doi.org/10.3390/ijms24031906>
- Puchalski, M., Szparaga, G., Biela, T., Gutowska, A., Sztajnowski, S., & Krucińska, I. (2018). Molecular and supramolecular changes in Polybutylene Succinate (PBS) and Polybutylene Succinate Adipate (PBSA) copolymer during degradation in various environmental conditions. *Polymers*, 10(3), 251. <https://doi.org/10.3390/POLYM10030251>
- Reichert, C. L., Bugnicourt, E., Coltelli, M. B., Cinelli, P., Lazzeri, A., Canesi, I., Braca, F., Martínez, B. M., Alonso, R., Agostinis, L., Verstichel, S., Six, L., De Mets, S., Gómez, E. C., Ißbrücker, C., Geerinck, R., Nettleton, D. F., Campos, I., Sauter, E., Pieczyk, P., Schmid, M. (2020). Bio-based packaging: Materials, modifications, industrial applications and sustainability. *Polymers*, 12(7), 1558. <https://doi.org/10.3390/POLYM12071558>
- Tertyshnaya, Y. V., & Podzorova, M. V. (2020). Effect of UV irradiation on the structural and dynamic characteristics of polylactide and its blends with polyethylene. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 14(1), 167–175. <https://doi.org/10.1134/S1990793120010170>
- Van den Oever, M., & Molenveld, K. (2017). Replacing fossil based plastic performance products by bio-based plastic products — Technical feasibility. *New Biotechnology*, 37, 48–59. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.07.007>
- Van Velzen at all. (2016). Recycling efficiency of used plastic packaging. *Proceedings of the 32nd International Conference of the Society for the Processing of Polymers, Lyon, France*. The Digital Book of Abstracts.
- Wang, L., Xu, J., Zhang, M., Zheng, H., & Li, L. (2022). Preservation of soy protein-based meat analogues by using PLA/PBAT antimicrobial packaging film. *Food Chemistry*, 380, 132022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.132022>
- Weng, Y. X., Jin, Y. J., Meng, Q. Y., Wang, L., Zhang, M., & Wang, Y. Z. (2013). Biodegradation behavior of poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT), poly(lactic acid) (PLA), and their blend under soil conditions. *Polymer Testing*, 32(5), 918–926. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2013.05.001>
- Yousif, B. F. (2013). Editorial for SI: Materials, design and tribology. *Materials & Design*, 48, 1. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.01.009>
- Yousif, E., & Haddad, R. (2013). Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: Review. *SpringerPlus*, 2(1), 1–32. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-398/FIGURES/49>

Оптимизация молекулярно-генетического метода идентификации молочного сырья

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

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

АННОТАЦИЯ

Введение: В данной статье рассматривается актуальная проблема обеспечения качества и безопасности молочных продуктов путем борьбы с фальсификацией. В данном исследовании рассматривается проблема видовой фальсификации, в частности замена козьего молока коровьим из-за значительной разницы в стоимости. Разработка и внедрение новых средств обнаружения и идентификации такого рода фальсификации имеет решающее значение, так как применяющиеся традиционные методы, такие как электрофорез и хроматография, зачастую являются дорогостоящими и трудоемкими. В статье рассматривается использование молекулярно-генетических методов, в частности полимеразной цепной реакции (ПЦР), как более эффективного и точного средства выявления видовой фальсификации молока. Такие методы, как ПЦР, обладают высокой специфичностью, чувствительностью, скоростью и возможностью проведения количественного и мультиплексного анализа.

Цель: оптимизация метода идентификации видовой принадлежности сырого молока при помощи ПЦР-скрининга с использованием маркеров ядерной ДНК.

Материалы и методы: Исследование, выполненное в Центральной лаборатории микробиологии Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности, посвящено видовой идентификации молока крупного и мелкого рогатого скота с использованием специфического набора праймеров, комплиментарных консервативному участку гена амилогенина жвачных. Исследование включает в себя выделение суммарной ДНК из образцов сырого молока сельскохозяйственных животных с последующим ПЦР-скринингом и детекцией результатов по конечной точке.

ПЦР-анализ проводили в реакционных смесях объемом 25 мкл, включающих такие ключевые компоненты, как смесь 5xScreen Mix, специфические праймеры, образцы ДНК и не содержащую нуклеазы деионизированную воду. Программа амплификации включала этапы денатурации, отжига и элонгации в течение нескольких циклов.

Результаты: Эксперимент был направлен на оценку пригодности праймеров SE47 и SE48 для амплификации ядерной ДНК соматических клеток молока крупного рогатого скота (*Bos taurus*) и коз (*Capra hircus*). Первоначально при проведении ПЦР-реакции использовалась расчётная температура отжига 56 °C, однако использование данного режима приводило к появлению многочисленных неспецифических ПЦР-продуктов, выявляемых на электрофореграмме. Для решения данной проблемы мы поэтапно повышали температуру отжига, что привело к значительному снижению синтеза неспецифических ампликонов и, в конечном итоге, достижению 100 % специфичности амплификации при температуре отжига 70 °C.

Выводы: Нам удалось оптимизировать систему детекции на основе ПЦР для определения видовой идентификации молока крупного и мелкого рогатого скота. Полученные результаты подтверждают возможность использования геномной ДНК соматических клеток молока для успешной амплификации видоспецифических ядерных маркеров, но сохраняется необходимость проведения дальнейших исследований для определения чувствительности ПЦР-системы и возможности её применения при анализе продуктов переработки молока.

Ключевые слова: полимеразная цепная реакция; видовая идентификация молока; фальсификация молока

Корреспонденция:

Екатерина Германовна

Лазарева,

E-mail: e_lazareva@vniimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 03.06.2023

Принята: 15.12.2023

Опубликована: 30.12.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Хан, А.В., Лазарева, Е.Г., & Фоменко, О.Ю. (2023). Оптимизация молекулярно-генетического метода идентификации молочного сырья. FOOD METAENGINEERING, 1(4), 39-47. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.29>

Optimization of Molecular Genetic Method for Identification of Dairy Raw Materials

Alexei V. Khan, Ekaterina G. Lazareva, Oleg Yu. Fomenko

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: This article addresses the pressing issue of ensuring the quality and safety of dairy products by combating adulteration, a challenge that continues to plague the dairy industry. Adulteration, often driven by cost-cutting motives, involves altering the composition, quality, or origin of dairy products, even in the face of tightened control measures and improved monitoring systems. Specifically, this study hones in on the problem of species-specific adulteration, particularly the substitution of goat milk with cow milk due to the significant cost differential. Detecting and identifying such adulteration is crucial, and while traditional methods like electrophoresis and chromatography have been used, they are often expensive and labor-intensive. The article explores the use of molecular genetic methods, particularly polymerase chain reaction (PCR), as a more efficient and accurate means of identifying species-specific milk adulteration. Methods like PCR offer high specificity, sensitivity, speed, and the ability to perform quantitative and multiplex analyses.

Purpose: To optimise a method for species identification of dairy products by PCR-based screening using DNA isolated from cow's and goat's milk somatic cells.

Materials and Methods: This research conducted at the Central Laboratory of Microbiology, All-Russian Research Institute of Dairy Industry, focuses on milk species identification of cattle and small ruminants using a specific set of primers targeting the polymorphic amylogenin gene. The study involves PCR screening with DNA extracted from cow's and goat's raw milk utilizing a MiniAmp instrument for the analysis. Qualitative and quantitative assessments of DNA preparations were performed, measuring DNA concentration with a Qubit 4 fluorimeter and Qubit dsDNA BR Assay Kit. PCR analysis was carried out in 25 µl reactions, including key components such as 5xScreen Mix, specific primers, DNA samples, and mQ H₂O. The amplification program comprised denaturation, annealing, and elongation steps over a series of cycles.

Results: The experiment was aimed at assessing the suitability of primers SE47 and SE48 for amplification of nuclear DNA of milk somatic cells of cattle (*Bos taurus*) and goats (*Capra hircus*). Initially, a calculated annealing temperature of 56 °C was used in the PCR reaction, yielding in numerous nonspecific fragments appeared on the electropherogram. To solve this problem, we gradually increased the annealing temperature, which resulted in a significant decrease in the nonspecific fragments number and their complete absence at annealing temperature of 70 °C.

Conclusion: We succeeded in optimizing a PCR-based detection system for the milk species identification of cattle and small ruminants. The results obtained confirm the possibility of using genomic DNA of milk somatic cells for the successful amplification of species-specific nuclear markers, but there remains a need for further research to determine the sensitivity of the PCR system and the possibility of its use in the analysis of milk processing products.

Keywords: polymerase chain reaction; milk species identification; milk adulteration

Correspondence:

Ekaterina G. Lazareva,
E-mail: e_lazareva@vniimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 03.06.2023

Accepted: 15.12.2023

Published: 30.12.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Khan, A.V., Lazareva, E.G., & Fomenko, O.Yu. (2023). Optimization of molecular genetic method for identification of dairy raw materials. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 39-47. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.29>

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение качества и безопасности молочных продуктов путем выявления фальсификации является важной задачей в молочной промышленности (Хуршудян и др., 2022; Макеева и др., 2021). Многие производители прибегают к намеренному изменению состава, качества или происхождения молочных продуктов с целью снижения себестоимости (Smith-Howard, 2017; Rodionov et al., 2021). Несмотря на то, что меры контроля с каждым годом ужесточаются и система мониторинга совершенствуется, данные мероприятия не всегда способны предотвращать появление на прилавках продуктов ненадлежащего качества (Mafrá et al., 2022; Chen et al., 2017). В свете вышеописанных факторов оптимизация методов контроля молока и продуктов его переработки является актуальной в современной сельскохозяйственной практике (Юрова и др., 2021).

В рамках данной работы мы сфокусируемся на проблеме видовой фальсификации молока — теме, которая привлекает всё большее внимание в связи с ее экономическими и медицинскими последствиями. Наиболее распространенным типом видовой фальсификации является частичная замена козьего молока коровьим (Канина и др., 2021; Roy et al., 2020). Данный процесс с финансовой точки зрения связан с более низкой себестоимостью коровьего молока (~35 руб./л) относительно козьего (~75 руб./л). С точки зрения безопасности данный вид фальсификации негативно влияет на следующие аспекты: возможные аллергические реакции на избыточное содержание α s-1 казеина в коровьем молоке, а также отрицательного воздействия β -казеина типа A1 (Miciński et al., 2013; Jianqin et al., 2015; Rahmatalla et al., 2022), ухудшение усвояемости по причине крупных жировых глобул и негативного эффекта от высокого содержания лактозы (Schmidt et al., 2020; Prosser et al., 2021).

Для решения проблемы видовой фальсификации молока важно внедрить эффективные методы выявления такого рода фальсификации (Poonia et al., 2017; Banti, 2020; Choudhary et al., 2020). Традиционно для этих целей используются электрофоретический и хроматографический методы, зачастую являющиеся дорогостоящими и трудоемкими (Nascimento et al., 2017). Например, в работе Trimboli et al. (2019) рассматривается использование метода капиллярного электрофореза (КЭ) для выявления примеси коровьего молока в молоке буйво-

лиц с использованием в качестве маркера фальсификации одного из белков коровьего молока. Данный метод характеризуется простотой анализа, эффективностью, пониженной частотой ошибок и хорошей прогностической точностью, подтвержденной статистическими результатами, что достигается за счёт применения единого алгоритма анализа. Однако совершенствование аналитических методик и статистических методов открыло путь к более эффективному и точному выявлению видовой фальсификации молока.

Например, в работе Chen et al. (2004) рассматривается разработка аналитического метода количественного определения уровня фальсификации козьего молока коровьим с помощью ВЭЖХ/ЭСИ-МС. Исследование посвящено выделению и идентификации сывороточных белков из образцов козьего и коровьего молока. Результаты показывают, что предложенный метод позволяет точно количественно определять наличие коровьего молока в козьем молоке даже при низком уровне фальсификации.

Существующие методы выявления фальсификации молока часто ограничены в своей способности улавливать тонкие различия между молоком из разных источников животного происхождения. Такие недостатки приводят к неполному обнаружению и вызывают вопросы о подлинности молочных продуктов на рынке. Поэтому очевидна необходимость оптимизации молекулярно-генетических методов идентификации видовой принадлежности молочной продукции с целью повышения эффективности и точности выявления фальсификации пищевых продуктов. Мы считаем, что наиболее оптимальным методом выявления видовой принадлежности является полимеразная цепная реакция (ПЦР). Методы на основе ДНК обладают высокой специфичностью, чувствительностью, скоростью и возможностью проведения количественных и мультиплексных анализов, что делает их ценным инструментом для целей аутентификации пищевых продуктов (Юрова и др., 2020; Fekete et al., 2017; Baptista et al., 2021). В данном исследовании для решения этих проблем предлагается инновационный подход, использующий ПЦР-анализ для устранения существующих недостатков в выявлении фальсификации молока.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследований являлось сырое коровье и козье молоко, использовавшиеся для выделения суммарной ДНК.

Оборудование

ПЦР-скрининг проводился посредством амплификации на приборе MiniAmp («ThermoFisher Scientific», США). Для анализа полученных результатов использовали системы гель-документирования «Vilber E-Box-CX5.TS» (Vilber, Франция), оснащённую трансиллюминатором «Vilber Super-Bright» (Vilber, Франция) с длиной волны 312 нм.

Методы

В рамках данной работы исследования проводились с применением полимеразной цепной реакции (ПЦР) — метода молекулярной биологии, основанного на избирательной амплификации молекул-мишеней. ПЦР позволяет легко проводить различные манипуляции с нуклеиновыми кислотами. Для последующего анализа и интерпретации данных применялся электрофорез в агарозном геле, обеспечивающий разделение целевых амплифицированных молекул по размеру и обнаруживающий необходимые различия в видоспецифичной ПЦР.

Процедура исследования

Для выделения ДНК использовали осадок соматических клеток, полученный из 2 мл анализируемых образцов молока. Для выделения использовали коммерчески доступные наборы «ДНК-сорб-С-М» (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия) согласно рекомендациям производителя. Полимеразную цепную реакцию проводили в конечном объеме 25 мкл. Для специфической амплификации фрагмента генов AMELX жвачных использовали праймеры 5'-CAGCCAAACCTCCCTCTGC-3' (SE47, прямой) и 5'-CCCGCTTGGCTTGTCTGTTGC-3' (SE48, обратный) согласно Ennis & Gallagher (1994). Реакционная смесь состояла из 5 мкл 5xScreen Mix (3АО «Евроген», Россия), 1 мкл праймера SE47 10 мМ, 1 мкл праймера SE48 10 мМ, 2 мкл образца ДНК и 16 мкл деионизированной воды, свободной от нуклеаз.

Программа для амплификации включала первоначальную денатурацию при 95 °С в течение 5 минут, серию из 35

циклов, где каждый цикл включал 3 стадии: денатурацию при 95 °С 15 секунд, отжиг с вариативной температурой 15 секунд и элонгацию при 72 °С 20 секунд, и наконец финальную элонгацию при 72 °С в течение 10 минут.

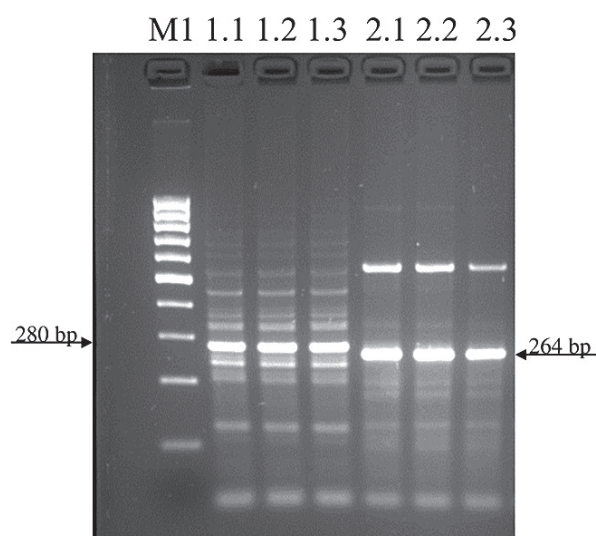
Электрофорез для оценки идентификации видовой принадлежности ДНК проводили в 2,5% агарозном геле (VWR International LLC, США) при напряжении электрического поля 7 В/см геля, где в качестве стандартных маркеров длин ДНК были использованы «100+ bp DNA Ladder» (ООО «НПФ Синтол», Россия). Для детекции амплифицированных фрагментов гели были приготовлены с добавлением раствора бромистого этидия.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе мы проводили ПЦР с ДНК сельскохозяйственных животных (КРС, козы) при температуре отжига равной 56 °С. Данное значение было получено теоретически путём анализа термодинамических характеристик олигонуклеотидов с использованием сервиса «NEB Tm Calculator» (<https://tmcator.neb.com/#!/main>). Последующий анализ электрофореграммы выявил значительный уровень неспецифической амплификации в виде множественных дополнительных бэндов побочных ПЦР-фрагментов во всех исследуемых образцах (Рисунок 1).

Рисунок 1

Электрофореграмма ПЦР при $T_a = 56^\circ\text{C}$.



Примечание: M1 — маркер («100+ bp DNA Ladder»); 1.1, 1.2, 1.3 — ПЦР-фрагменты амилогенина КРС; 2.1, 2.2, 2.3 — ПЦР-фрагменты амилогенина козы.

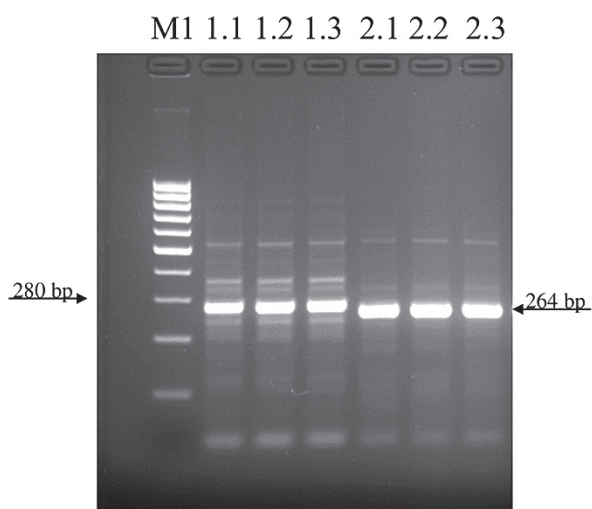
На следующем этапе нашей работы было принято решение провести серию ПЦР при более высоких температурах отжига для повышения точности ПЦР-амплификации. При повышении температуры до 62 °С видно уменьшение выхода высокомолекулярных продуктов неспецифической амплификации. Полосы, соответствующие целевым ампликонам, стали более различимы по сравнению с исходными условиями термоциклирования (Рисунок 2).

Последующее повышение температуры отжига олигонуклеотидных затравок приводило к дальнейшему росту специфичности амплификации целевых фрагментов гена AMELX. Анализ электрофореграмм показал увеличение выхода целевых ампликонов при проведении ПЦР, и существенное снижение эффективности амплификации неспецифических продуктов реакции, в особенности — низкомолекулярных в диапазоне длин 100–250 пар оснований (Рисунок 3).

Сдвиг температуры отжига праймеров в область оптимума активности Taq-полимеразы ($T_a = 70^\circ\text{C}$) привел к полному исчезновению продуктов неспецифической амплификации и обнаружению на электрофореграмме исключительно ампликонов целевой длины: 280 пар оснований в случае коровьего молока, и 264 пар — в случае козьего (Рисунок 4). Проведение ПЦР при дан-

Рисунок 2

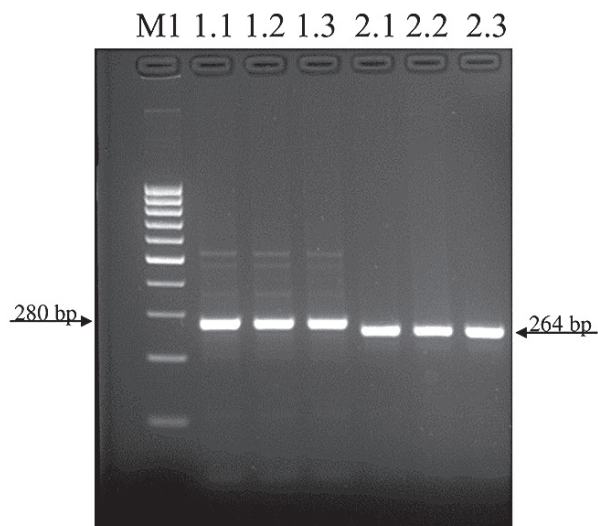
Электрофореграмма ПЦР при $T_a = 62^\circ\text{C}$.



Примечание: M1 — маркер («100+ bp DNA Ladder»); 1.1, 1.2, 1.3 — ПЦР-фрагменты амилогенина КРС; 2.1, 2.2, 2.3 — ПЦР-фрагменты амилогенина козы;

Рисунок 3

Электрофореграмма ПЦР при $T_a = 68^\circ\text{C}$.

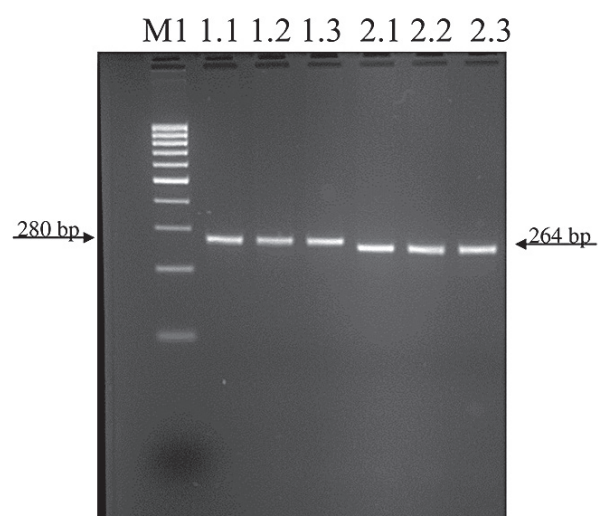


Примечание: M1 — маркер («100+ bp DNA Ladder»); 1.1, 1.2, 1.3 — ПЦР-фрагменты амилогенина КРС; 2.1, 2.2, 2.3 — ПЦР-фрагменты амилогенина козы;

ных условиях позволило, таким образом, визуально отличать ПЦР-продукты, полученные с использованием ДНК сырого молока коров, от амплифицированных фрагментов гена AMELX коз.

Рисунок 4

Электрофореграмма ПЦР при $T_a = 70^\circ\text{C}$.



Примечание: M1 — маркер («100+ bp DNA Ladder»); 1.1, 1.2, 1.3 — ПЦР-фрагменты амилогенина КРС; 2.1, 2.2, 2.3 — ПЦР-фрагменты амилогенина козы

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для аутентификации пищевых продуктов широко используются методы, основанные на ПЦР, которые предполагают применение электрофореза и гибридизационно-флуоресцентных методов детекции для анализа продуктов амплификации. На данный момент разработаны различные подходы, включая методы ПЦР-ПДРФ (полиморфизм по длине рестрикционных фрагментов), а также гибридизации, секвенирования и биосенсорного анализа на основе последовательностей митохондриальных и ядерных генов.

В исследовании Вафина и соавт. (2022) для определения видовой специфичности ДНК молока был использован комплексный метод ПЦР-ПДРФ. Данный подход позволил определить и аутентифицировать коровье, козье и овечье молоко, а также соответствующие молочные продукты, используя в качестве ДНК-маркера ген *κ*-казеина. Однако проведение ПЦР с последующим рестрикционным анализом представляет собой очень продолжительный по времени процесс, обладающий большой трудоёмкостью, требующий использования дорогостоящих реактивов и несущий повышенный риск контаминации образцов и лаборатории.

Также в исследованиях по видовой аутентификации часто используется ПЦР-идентификация по митохондриальной ДНК. В одном из исследований, проведенном Maudet et al. (2001), использовалась стандартная технология ПЦР с использованием контрольного участка митохондриальной ДНК коровы, что позволило успешно обнаружить ДНК коровьего молока в козьем сыре с высоким уровнем чувствительности, выявляя количество до 0,1 %. Аналогичным образом, в другой научной публикации Pinto et al. (2004) использовали стандартную технологию ПЦР для амплификации коровьего митохондриального гена цитохрома *b* и успешно выявили молочные компоненты в 30 итальянских сырах из молока буйволиц.

Нами была предпринята попытка выяснить возможность использования маркеров ядерной ДНК для определения видовой принадлежности молока. В качестве мишени нами был выбран ген, кодирующий белок амилогенин — один из ключевых компонентов зубной эмали (Ali & Farooq, 2019). Благодаря различной длине аллелей, расположенных на различных половых хромосомах, амплификация фрагментов данного гена широко используется в судебно-медицинской прак-

тике и при проведении антропологических исследований для установления пола (Masuyama et al., 2017). В животноводстве известна успешная попытка создания универсальной тест-системы для определения пола у представителей семейства полорогих (Петров и др., 2018). Однако до настоящего времени не предпринималось попыток использования данного маркера для определения видовой принадлежности сырого молока. Поэтому нами была изучена возможность амплификации фрагментов генов AMELX с использованием ДНК соматических клеток молока.

На первом этапе была произведена проверка пригодности праймеров для работы с геномной ДНК соматических клеток молока КРС (*Bos taurus*) и козы (*Capra hircus*). За отправную точку в оптимизации режима термоциклирования при проведении ПЦР нами была выбрана расчётная температура отжига олигонуклеотидов (T_a), равная 56 °С. Однако, как показала аналитическая электрофорез в агарозном геле, амплификация в данных условиях приводила к синтезу значительного количества неспецифических продуктов с размерами как больше, так и меньше длины целевых фрагментов (280 п.о. для коровы и 264 п.о. — для козы). Один из праймеров, используемых для исключения образования неспецифических ампликонов, размер которых не соответствует полученному при моделировании результатов полимеразной цепной реакции *in silico*, является повышение температуры отжига. При этом необходимо учитывать, что оптимальная температура отжигов праймеров, в отличие от температуры их плавления (T_m), определяется не только их первичной структурой, но и характеристиками реакционной смеси, а также может в значительной степени зависеть от стоящих перед исследователем задач. Поэтому теоретическое определение данного параметра представляет собой довольно нетривиальную задачу, решение которой требует знания точного состава буфера для ПЦР. Например, осуществления вычислений с использованием программного обеспечения Primer3, требует использования информации о концентрации моно- и дивалентных катионов, содержании свободных дезоксирибонуклеотидтрифосфатов в реакционной смеси, и даже о концентрации олигонуклеотидов, отжигающихся на матрице, которая, в свою очередь, зависит от количества ДНК (включая образующийся в ходе реакции ПЦР-продукт) в пробирке в течение конкретного цикла реакции (Untergasser et al., 2012). Однако в ряде случаев (например, при использовании готовых коммерческих

ПЦР-смесей) данная информация может быть полностью или частично недоступна. Поэтому в большинстве ситуаций существует необходимость подбора оптимального значения температуры отжига для достижения наилучшей чувствительности и эффективности ПЦР-системы с учётом применяемого оборудования и реагентов. Поэтапное повышение температуры отжига праймеров *sr47* и *sr48* при использовании их для амплификации целевого фрагмента гена *AMELX* привело к значительному снижению выхода неспецифических продуктов и полному их отсутствию при достижении T_a уровня 70 °С. Данное значение лежит в пределах температурного оптимума термостабильной полимеразы *Taq* (Каледин и др., 1980; Lawyer et al., 1993), что позволяет в дальнейшем провести исследования, направленные на существенное уменьшение времени проведения анализа.

ВЫВОДЫ

В заключение следует отметить, что обеспечение качества и безопасности молочной продукции представляет собой актуальную проблему для отрасли, связанную в первую очередь с фальсификацией, обусловленной финансовыми соображениями. Несмотря на усиление мер регулирования, наличие на рынке продукции, не отвечающей установленным требованиям, подчеркивает необходимость усиления контроля качества. В данной работе рассматривается проблема фальсификации молока по видовому признаку с особым акцентом на рас-

пространенном явлении замены козьего молока на коровье. Такая замена влечет за собой экономические последствия и проблемы безопасности, в частности, возможное возникновение аллергических реакций и осложнений пищеварения.

Нам удалось оптимизировать систему праймеров, использующуюся в целях определения пола сельскохозяйственных животных, для осуществления видовой идентификации сырого молока крупного и мелкого скота на основе ПЦР. Полученные результаты подтверждают возможность использования геномной ДНК соматических клеток молока для успешной амплификации видоспецифических ядерных маркеров, но сохраняется необходимость проведения дальнейших исследований для определения чувствительности ПЦР-системы и возможности её применения при анализе продуктов переработки молока.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Хан Алексей Владимирович: методология и обработка данных; создание рукописи; утверждение окончательного варианта статьи.

Лазарева Екатерина Германовна: общее руководство и дизайн исследования; создание рукописи; утверждение окончательного варианта статьи.

Фоменко Олег Юрьевич: создание рукописи; редактирование; утверждение окончательного варианта статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Каледин, А.С., Слюсаренко, А.Г., Городецкий, С.И. (1980). Выделение и свойства ДНК-полимеразы из экстремально-термофильной бактерии *Thermus aquaticus* YT1. *Биохимия*, 45(4), 644–651.
- Kaledin, A.S., Slyusarenko, A.G., Gorodetsky, S.I. (1980). Isolation and properties of DNA polymerase from the extremophilic thermophilic bacterium *Thermus aquaticus* YT1. *Biochemistry*, 45(4), 644–651. (In Russ.)
- Канина, К. А., & Жижин, Н. А. (2021). Изучение качества козьего молока и овечьего как сырья для производства молочных продуктов, 3-46, 238.
- Kanina, K. A., Zhizhin, N. A. (2021). Study of the quality of goat and sheep milk as raw material for the production of dairy products, Z-46, 238. (In Russ.)
- Макеева, И. А., Стратонова, Н. В., Пряничникова, Н. С., & Белякова, З. Ю. (2021). Российские молочные продукты: эволюция идентификации. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, (2–3), 10–13. <https://doi.org/10.26297/0579–3009.2021.2–3.2>
- Makeeva, I. A., Stratonova, N. V., Pryanichnikova, N. S., & Belyakova, Z. Yu. (2021). Russian dairy products: The evolution of identification. News of Higher Educational Institutions. *Food Technology*, (2–3), 10–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.26297/0579–3009.2021.2–3.2>
- Петров, С. Н., Харзинова, В. Р., Костюнина, О. В., Доцев, А. В., & Зиновьева, Н. А. (2018). Разработка универсальной тест-системы для определения пола у видов семейства полорогих на основе анализа полиморфизма гена

- амелогенина. Генетика и разведение животных, (4), 3–9. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-4-3-9>
- Petrov, S. N., Kharzinova, V. R., Kostyunina, O. V., Dotsev, A. V., & Zinovieva, N. A. (2018). Development of a universal test system for determining the sex of Bovidae family species based on the analysis of amelogenin gene polymorphism. *Genetics and Animal Breeding*, (4), 3–9. (In Russ.) <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-4-3-9>
- Хуршудян, С. А., Пряничникова, Н. С., & Рябова, А. Е. (2022). Качество и безопасность пищевых продуктов. Трансформация понятий. *Пищевая промышленность*, (3), 8.
- Khurshudyan, S. A., Pryanichnikova, N. S., & Ryabova, A. E. (2022). Quality and safety of food products. Transformation of concepts. *Food Industry*, (3), 8. (In Russ.)
- Юрова, Е. А., Фильчакова, С. А. (2021). Разработка методик измерений, обеспечивающих проведение испытаний продукции по всему спектру показателей и идентификационных характеристик продукта. Идеи академика Владимира Дмитриевича Харитонов в наукоемких технологиях переработки молока (с. 243–262). Москва: ВНИМИ.
- Yurova, E. A., Filchakova, S. A. (2021). Development of measurement methods ensuring the testing of products across the entire spectrum of indicators and product identification characteristics. Ideas of Academician Vladimir Dmitrievich Kharitonov in science-intensive milk processing technologies (с. 243–262). Москва: ВНИМИ. (In Russ.)
- Юрова, Е. А., Фильчакова, С. А., & Жижин, Н. А. (2020). Применение метода ПЦР-анализа для определения видового состава молочного сырья. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, (6), 16–25. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-6-16-25>
- Yurova, E. A., Filchakova, S. A., & Zhizhin, N. A. (2020). Application of PCR analysis for determining the species composition of dairy raw materials. *News of the Timiryazev Agricultural Academy*, (6), 16–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-6-16-25>
- Ali, S., Farooq, I. (2019). A review of the role of amelogenin protein in enamel formation and novel experimental techniques to study its function. *Protein & Peptide Letters*, 26(12), 880–886. <https://doi.org/10.2174/0929866526666190731120018>
- Banti, M. (2020). Food adulteration and some methods of detection, review. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 9(3), 86–94. <https://doi.org/10.11648/j.jnfs.20200903.13>
- Baptista, M., Cunha, J. T., & Domingues, L. (2021). DNA-based approaches for dairy products authentication: A review and perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 386–397. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.043>
- Chen, R., Chang, L., Chung, Y., Lee, M., & Ling, Y. (2004). Quantification of cow milk adulteration in goat milk using high-performance liquid chromatography with electrospray ionization mass spectrometry. *Communications in Mass Spectrometry*, 18(10), 1167–1171. <https://doi.org/10.1002/rcm.1460>
- Chen, T., Wang, L., Wang, J., & Yang, Q. (2017). A network diffusion model of food safety scare behavior considering information transparency. *Complexity*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5724925>
- Choudhary, A., Gupta, N., Hameed, F., & Choton, S. (2020). An overview of food adulteration: Concept, sources, impact, challenges and detection. *International Journal of Chemical Studies*, 8(1), 2564–2573. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i1am.8655>
- Di Pinto, A., Conversano, M. C., Forte, V. T., Novello, L., & Tantillo, G. M. (2004). Detection of cow milk in buffalo “mozzarella” by polymerase chain reaction (PCR) assay. *Journal of Food Quality*, 27(6), 428–435. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2004.00662.x>
- Ennis, S., Gallagher, T.F. (1994). A PCR-based sex-determination assay in cattle based on the bovine amelogenin locus. *Animal Genetics*, 25(6), 425–427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.1994.tb00533.x>
- Fekete, T., Šnirc, M., Belej, L., Židek, R., Golian, J., Haščík, P., Zajác, P. (2017). Authentication of caprine milk and cheese by commercial qPCR assay. *Potravinarstvo*. <https://doi.org/10.5219/780>
- Jianqin, S., Leiming, X., Lu, X., Yelland, G. W., Ni, J., & Clarke, A. J. (2015). Effects of milk containing only A2 beta casein versus milk containing both A1 and A2 beta casein proteins on gastrointestinal physiology, symptoms of discomfort, and cognitive behavior of people with self-reported intolerance to traditional cows' milk. *Nutrition journal*, 15, 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12937-016-0147-z>
- Liao, J., & Liu, Y. (2020). Extraction and detection of DNA from UHT milk during storage. *CyTA-Journal of Food*, 18(1), 747–752. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1839565>
- Lawyer, F.C., Stoffel, S., Saiki, R.K., Chang, S.Y., Landre, P.A., Abramson, R.D., Gelfand, D.H. (1993). High-level expression, purification, and enzymatic characterization of full-length *Thermus aquaticus* DNA polymerase and a truncated form deficient in 5' to 3' exonuclease activity. *Genome Research*, 2(4), 275–87. <https://doi.org/10.1101/gr.2.4.275>
- Mafra, I., Honrado, M., & Amaral, J. S. (2022). Animal species authentication in dairy products. *Foods*, 11(8), 1124. <https://doi.org/10.3390/foods11081124>
- Masuyama, K., Shojjo, H., Nakanishi, H., Inokuchi, S., Adachi, N. (2017). Sex determination from fragmented and degenerated

- DNA by amplified product-length Polymorphism Bidirectional SNP analysis of Amelogenin and SRY genes. *PLoS ONE*, 12(1), e0169348. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169348>
- Maudet, C., & Taberlet, P. (2001). Detection of cows' milk in goats' cheeses inferred from mitochondrial DNA polymorphism. *Journal of Dairy Research*, 68(2), 229–235. <https://doi.org/10.1017/S0022029901004794>
- Miciński, J., Kowalski, I. M., Zwierzchowski, G., Szarek, J., Pierożyński, B., & Zabłocka, E. (2013). Characteristics of cow's milk proteins including allergenic properties and methods for its reduction. *Polish Annals of Medicine*, 20(1), 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.poamed.2013.07.006>
- Nascimento, C. F., Santos, P. M., Pereira-Filho, E. R., & Rocha, F. R. (2017). Recent advances on determination of milk adulterants. *Food chemistry*, 221, 1232–1244. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.034>
- Poonia, A., Jha, A., Sharma, R., Singh, H. B., Rai, A. K., & Sharma, N. (2017). Detection of adulteration in milk: A review. *International journal of dairy technology*, 70(1), 23–42. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12274>
- Prosser, C. G. (2021). Compositional and functional characteristics of goat milk and relevance as a base for infant formula. *Journal of Food Science*, 86(2), 257–265. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15574>
- Rahmatalla, S. A., Arends, D., & Brockmann, G. A. (2022). Genetic and protein variants of milk caseins in goats. *Frontiers in Genetics*, 13, 995349. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.995349>
- Rodionov, G. V., Amerkhanov, K. A., Solovieva, O. I., Olesyuk, A. P., & Minero, C. S. M. (2021). Biotechnological methods to improve the quality and safety of milk. In *BIO Web of Conferences* (vol. 36, 05002). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213605002>
- Roy, D., Ye, A., Moughan, P. J., & Singh, H. (2020). Composition, structure, and digestive dynamics of milk from different species — A review. *Frontiers in Nutrition*, 7, 577759. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.577759>
- Schmidt, J. M., Kjølbaek, L., Jensen, K. J., Rouy, E., Bertram, H. C., Larsen, T., ... & Hammershøj, M. (2020). Influence of type of dairy matrix micro-and macrostructure on in vitro lipid digestion. *Food & function*, 11(6), 4960–4972. <https://doi.org/10.1039/D0FO00785D>
- Smith-Howard, K. (2017). *Pure and modern milk: An environmental history since 1900*. Oxford University Press.
- Trimboli, F., Costanzo, N., Lopreiato, V., Ceniti, C., Morittu, V. M., Spina, A., & Britti, D. (2019). Detection of buffalo milk adulteration with cow milk by capillary electrophoresis analysis. *Journal of dairy science*, 102(7), 5962–5970. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16194>
- Untergasser, A., Cutcutache, I., Koressaar, T., Ye, J., Faircloth, B.C., Remm, M., & Rozen, S.G. (2012). Primer3 — new capabilities and interfaces. *Nucleic Acids Research*, 40(15), e115. <https://doi.org/10.1093/nar/gks596>
- Vafin, R. R., Galstyan, A. G., Tyulkin, S. V., Gilmanov, K. K., Yurova, E. A., Semipyatniy, V. K., & Bigaeva, A. V. (2022). Species identification of ruminant milk by genotyping of the κ-casein gene. *Journal of Dairy Science*, 105(2), 1004–1013.

К вопросу разработки и адаптации прогностической модели полнофакторной оптимизации технологического процесса производства пробиотического кисломолочного продукта

З. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

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

АННОТАЦИЯ

Введение: С учетом быстрого развития рынков и растущих потребностей в продуктах с длительным сроком годности, необходимо расширять ассортимент, улучшать качество и биологическую ценность продукции, а также модернизировать традиционные технологии. Для этого важно повышать эффективность научных исследований и ускорять внедрение научных разработок в производство. В частности, применение системного математического моделирования для оптимизации технологических процессов сократит время разработки новых видов молочных продуктов.

Цель: Статья посвящена разработке и адаптации прогностической математической модели оптимизации технологического процесса производства пробиотического кисломолочного продукта. Модель позволит обеспечить возможность конструирования ряда рецептур пробиотического кисломолочного продукта, для которых относительная биологическая ценность (ОБЦ) будет соответствовать максимальному значению при удовлетворительных заданных параметрах процесса.

Материалы и методы: Образцы пробиотического кисломолочного продукта с варьированием жирно-белкового индекса в диапазоне от 0 до 1,5 и массовой доли сахарозы — от 0 до 10%, а также образцы с постоянной массовой долей сахарозы 7,3% и жиробелковым индексом 1,24 при массовой доле жира 3,48, 3,97, 4,09 и 4,21% выступили в качестве объектов исследования. В каждом варианте исследовали значение относительной биологической ценности (ОБЦ). Все исследования проводили в 3–5 кратной повторности.

Результаты: Разработана математическая модель для оптимизации процесса производства пробиотического кисломолочного продукта. В рамках полнофакторного эксперимента (ПФЭ) в качестве переменных были выбраны массовая доля сахарозы (до 10%) и жирно-белковый индекс (до 1,5%). Определяющим показателем служила общая бактериальная численность (ОБЦ). Исследования показали, что ОБЦ максимально (244,866%) при массовой доле сахарозы 7,31% и жирно-белковом индексе 1,241. Для достижения максимальной ОБЦ, минимальное содержание жира должно быть 3,475%. Проведенный анализ ПФЭ выявил влияние дополнительных факторов на зависимость ОБЦ от массовой доли жира. В модель был введен корректирующий коэффициент (Q). Комплексный анализ зависимости Q от массовой доли жира обеспечил получение интервальных оценок этого коэффициента для различных фиксированных уровней ОБЦ.

Выводы: Апробированная модель для оптимизации технологического процесса производства пробиотического кисломолочного продукта и выведенные математические зависимости могут быть использованы для создания разнообразных рецептур сахаросодержащих кисломолочных продуктов с высокой относительной биологической ценностью. Модель ограничивается диапазонами массовой доли жира (0,06–4,84%) и белка (2,8–3,9%). Этот метод позволяет анализировать перспективные режимы процесса, которые не всегда достижимы на практике. Применение модели значительно ускорит исследования, направленные на улучшение технологического процесса.

Ключевые слова: прогностическая модель процесса, пробиотический кисломолочный продукт, относительная биологическая ценность, полнофакторный эксперимент

Корреспонденция:

Зинаида Семеновна Зобкова,
E-mail: z_zobkova@vniimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 22.07.2023

Принята: 15.12.2023

Опубликована: 30.12.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Зобкова, З.С., Кондратенко, В.В., Пряничникова, Н.С., Зенина, Д.В., & Коровина, Н.С. (2023). Разработка и адаптация прогностической модели полнофакторной оптимизации технологического процесса производства пробиотического кисломолочного продукта. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 48–56. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.30>

On the development and adaptation of a predictive model of full-factor optimization of the basic probiotic fermented dairy product technological process

Zinaida S. Zobkova, Vladimir V. Kondratenko, Natalia S. Pryanichnikova, Daria V. Zenina, Natalia S. Korovina

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: Considering the rapid market development and the growing demand for long shelf-life products, it is necessary to expand the range, improve the quality and biological value of products, and modernize traditional technologies. This requires enhancing the efficiency of scientific research and accelerating the implementation of scientific developments in production. Specifically, the application of systematic mathematical modeling to optimize technological processes will reduce the time to develop new types of dairy products.

Purpose: This article is dedicated to the development and adaptation of a predictive mathematical model for optimizing the technological process of producing probiotic fermented milk products. The model will enable the construction of a range of recipes for probiotic fermented milk products, for which the relative biological value (RBV) will correspond to the maximum value with satisfactory given process parameters.

Materials and Methods: Samples of probiotic fermented milk product with varying fat-protein index ranging from 0 to 1.5 and mass fraction of sucrose — from 0 to 10%, as well as samples with a constant mass fraction of sucrose of 7.3 % and fat-protein index of 1.24 with a mass fraction of fat 3.48, 3.97, 4.09, and 4.21 % served as research objects. The relative biological value (RBV) was investigated in each variant. All studies were conducted with 3–5 repetitions.

Results: A mathematical model for optimizing the production process of probiotic fermented milk products was developed. In the full factorial experiment (FFE), the variables chosen were the mass fraction of sucrose (up to 10%) and the fat-protein index (up to 1.5 %). The determining indicator was the total bacterial count (TBC). Studies showed that TBC was maximal (244.866 %) at a mass fraction of sucrose of 7.31 % and a fat-protein index of 1.241. To achieve maximum TBC, the minimum fat content must be 3.475 %. The analysis of FFE revealed the influence of additional factors on the dependence of TBC on the mass fraction of fat. A corrective coefficient (Q) was introduced into the model. A comprehensive analysis of the dependence of Q on the mass fraction of fat provided interval estimates of this coefficient for different fixed levels of TBC.

Conclusion: The tested model for optimizing the production process of probiotic fermented milk products and the derived mathematical dependencies can be used to create a variety of recipes for sugary fermented milk products with high relative biological value. The model is limited to ranges of fat mass fraction (0.06–4.84 %) and protein (2.8–3.9 %). This method allows for the analysis of prospective process regimes, which are not always achievable in practice. The application of the model will significantly accelerate research aimed at improving the technological process.

Keywords: predictive process model, probiotic fermented dairy product, relative biological value, full-factorial experiment

Correspondence:

Ekaterina G. Lazareva,

E-mail: e_lazareva@vnimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 22.07.2023

Accepted: 15.12.2023

Published: 30.01.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Zobkova, Z.S., Kondratenko, V.V., Pryanichnikova, N.S., Zenina, D.V., & Korovina, N.S. (2023). The development and adaptation of a predictive model of full-factor optimisation of the basic probiotic fermented dairy product technological process. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 48-56. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.30>

ВВЕДЕНИЕ

По данным ФАО/ВОЗ население мира к 2050 году увеличится до 9,7 млрд человек¹. В условиях быстроразвивающихся рынков пищевых продуктов и возрастающих потребностей населения в новых видах продуктов с увеличенными сроками годности, возникает необходимость в расширении ассортимента новых видов продуктов, повышении их качества и, следовательно, в модернизации традиционных технологий^{2,3}. Основными средствами достижения этих целей является повышение эффективности и качества научных исследований, ускорение внедрения научных достижений в промышленность. Последнее внесет коррективы в ускорение разработки эффективных технологий кисломолочных продуктов. Использование новых методов планирования эксперимента с целью оптимизации технологических процессов позволит сократить продолжительность исследований по созданию новых видов продуктов. Одним из научных достижений последних лет является быстрое развитие экспериментально статистических методов исследования в различных отраслях, включая молочную⁴. По данным автора нахождение моделей методом полного факторного эксперимента состоит из планирования собственного эксперимента, проверки воспроизводимости, получения математической модели объекта с проверкой статистической значимости выборочных коэффициентов регрессии и проверке адекватности математического описания⁵. При таком подходе (разработка моделей) возможен анализ перспективных режимов для изучаемого процесса, которые в реальных условиях на стадии эксперимента не всегда удается получить.

Эти процессы предопределяют необходимость расширения области оценочных критериев качества продукции. При этом основным критерием оптимальности ко-

личественного и качественного состава несомненно должна являться биологическая ценность и безвредность продукта. Наиболее достоверным интегральным методом оценки качества продукта является биологический метод с использованием высших животных, применение которого весьма затруднительно для постоянного контроля продуктов, оценки сырья, различных способов обработки и новых технологий. Поэтому во всем мире наблюдается тенденция к максимальной замене высших животных альтернативными живыми моделями (культурами тканей, беспозвоночными, микроорганизмами и др.), среди которых несомненный интерес представляют простейшие — инфузории *Tetrahymena* и *Paramecium* (Zobkova et al., 2022). Большое число методических разработок и публикаций по данной тематике свидетельствует о том, что биотестирование с использованием простейших очень популярно (Zobkova et al., 2022; Evans, (1978); Лисицкая, 2007; Долгов, 1992; Зиганшина, 2015; Карпова, 2011; Журихина, 2015; Левчук, 2016; Шульгин, 2004; Зобкова, 2015; Зобкова, 2022)^{6,7}.

Авторами в (Zobkova et al., 2022) были разработаны методические аспекты и практические рекомендации по применению ускоренной биологической оценки кормов и продуктов животноводства. В качестве тестируемых функций исследователи использовали совокупность различных проявлений жизнедеятельности пресноводных ресничных инфузорий рода тетрагимены (*Tetrahymena*), таких как: выживаемость, поведенческая ростовая реакция, длительность лаг-фазы, размер клеток, количество выросшей биомассы и т.д.

Цель настоящего исследования — разработка и адаптация прогностической модели полнофакторной оптимизации производства пробиотического кисломолочного продукта.

¹ ФАО/ВОЗ. (27.08.2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/common-pages/search/ru/?q=демография>.

² Тутельян, В. А., Вялков, А. И., Разумов, А. Н., Михайлов, В. И., Москаленко, К. А., Одинец, А. Г., Снежная, В. Г., Сергеев, В. Н. (2010). *Научные основы здорового питания*. Издательский дом «Панорама», с. 816.

³ Покровский, А. А. (1981). *Разработка новых продуктов повышенной биологической ценности — важная задача науки о питании*. Медицина, с. 14–20.

⁴ Федоров, В. Г., Плесконос, А. К. (1980). *Планирование и реализация экспериментов: в пищевой промышленности*. Пищевая промышленность, с. 240.

⁵ Там же.

⁶ Council of Europe.(1986). European Convention for the Protection of Vertebrates Strasbourg Animals Used for Experiments or Other Scientific Purposes. Council of Europe.

⁷ Бондарук, А. М., Свинтилова, Т. Н., Журихина, Л. Н., Долгина, Н. А., Цыганков, В. Г. *Биологическая ценность и безвредность каш быстрорасторжимых для детского питания по результатам оценки на Tetrahymena pyriformis*. Научно-практический центр гигиены, с. 118–122.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Образцы пробиотического кисломолочного продукта с варьированием жирно-белкового индекса в диапазоне от 0 до 1,5 и массовой доли сахарозы — от 0 до 10 %, изготовленные в соответствии технологическим регламентом производства опытного продукта, а также образцы с постоянной массовой долей сахарозы 7,3 % и жирно-белковым индексом 1,24 при массовой доле жира 3,48, 3,97, 4,09 и 4,21 % с ожидаемым максимальным значением относительной биологической ценности (ОБЦ) для готового продукта, близкие к 244,86 %; при принятом ограничении по минимальной массовой доле белка цельного сырого молока — 2,8 %. Для ферментирования использовали закваску на термофильных стрептококках, болгарской палочке и ацидофильной палочке.

Процедура исследования

Оценку относительной биологической ценности опытного продукта осуществляли экспресс-методом биотестирования в соответствии с методикой, разработанной авторами (Zobkova et al., 2022). В качестве контроля был использован пробиотический кисломолочный продукт, изготовленный в соответствии с актуальными нормативными документами без учёта жирно-белкового индекса. Все исследования проводили в 3–5 кратной повторяемости.

Математическую обработку данных проводили с использованием табличного процессора Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, Ink.) с установленной надстройкой «Поиск решения», а также — специализированных пакетов программного обеспечения TableCurve 2D v.5.01 (SYSTAT Software, Ink.) и Wolfram Mathematica 10.2 (Wolfram Research, Ink.), учебного пособия.¹

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Расчет прогностической модели осуществляли на примере пробиотического кисломолочного продукта при выбранных технологических режимах производства (температура пастеризации исходного молока — 90–92 °С, гомогенизация — 45–80 °С, давление гомогенизации — 12,5 МПа, охлаждение до температуры

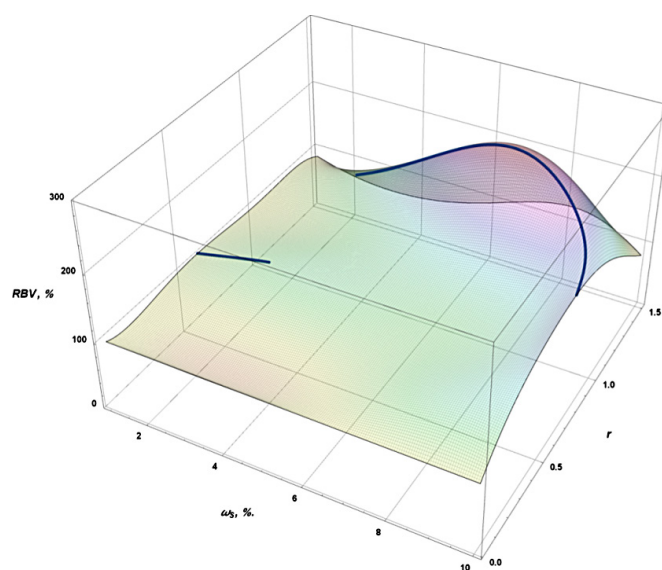
заквашивания и сквашивание — 37–40 °С, продолжительность сквашивания — 4–6 ч, охлаждение до 2–6 °С). В качестве независимых факторов были приняты массовая доля сахарозы (%) и жирно-белковый индекс (r) — отношение массовой доли жира к массовой доле белка в нормализованной смеси — в интервалах от 0 до 10 и от 0 до 1,5 %, соответственно. В качестве результирующего фактора была принята ОБЦ (RBV). На основании результатов исследований было получено уточнённое математическое описание зависимости показателя ОБЦ от массовой доли сахарозы и жирно-белкового индекса, адекватно описывающее эмпирическую взаимосвязь результирующего и независимых факторов.

Все коэффициенты имели сходственное математическое описание, адекватно отражающее искомую зависимость.

В силу того, что каждое дискретное значение жирно-белкового индекса, теоретически, может соответствовать бесконечному сочетанию массовых долей жира и белка в нормализованной смеси, при определении максимумов в качестве фиксируемого показателя была принята массовая доля сахарозы, как однозначно задаваемая. Местоположение рассчитанных максимумов на поверхности отклика математического описания представлено на рисунке 1.

Рисунок 1

Поверхность отклика влияния жирно-белкового индекса и массовой доли сахарозы на ОБЦ с максимумами (синие линии) при фиксированной массовой доле сахарозы



¹ Фетисов, Е. А., Семипятный, В. К., Петров, А. Н., Галстян, А. Г. (2015). *Планирование и анализ результатов технологических экспериментов*. Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, с. 98, ISBN 978–5–90656565–21–1.

З. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

Анализ полученных результатов показал, что в местоположении локальных максимумов при фиксированной массовой доле сахарозы имела место динамика по значению как ОБЦ, так и жиро-белкового индекса. Поскольку определяющим фактором обеих динамик являлась массовая доля сахарозы, была проведена их сравнительная оценка (Рисунок 2).

В пределах рассматриваемой области определения значений массовой доли сахарозы, каждая из динамик демонстрирует наличие разрыва при значении переменной — 2,96%. Сравнительный анализ левой части динамик от точки разрыва показывает нарастание ОБЦ при практически почти неизменном жиро-белковом индексе, что, предположительно указывает на доминирование влияния фактора присутствия сахарозы в кисломолочном продукте на величину ОБЦ. Этот вывод подтверждает также продолжение нарастания ОБЦ при дальнейшем увеличении присутствия сахарозы вплоть до некоторого максимального значения. При этом некоторое фиксированное соотношение жира и белка являлось своего рода фоном для проявления положительных свойств сахарозы. В силу малого шага дискретизации массовой доли сахарозы при определении множества локальных максимумов ОБЦ, динамики, представленные на Рисунке 2, являются множествами дискретных значений. Таким образом, для нахождения локального максимума динамики ОБЦ в пределах рассматриваемой области определения массовой доли

сахарозы с технологически приемлемой точностью достаточно ранжировать элементы множества без необходимости аппроксимации их значений. Анализ значений множества показал, что максимуму ОБЦ (244,866 %) соответствовала массовая доля сахарозы — 7,31%, при оптимуме жиро-белкового индекса, равном 1,241.

Найденные оптимальные решения теоретически позволяют быть оптимальными с точки зрения относительной биологической ценности и рассчитывать любые рецептуры кисломолочного продукта, в которых при оптимальной массовой доле сахарозы и любых значениях массовой доли жира или белка обеспечивается соответствие жиро-белкового индекса его оптимальному значению. Однако, преломление данного подхода в практическую плоскость накладывало на потенциальное множество рецептур определённое ограничение, связанное с химическим составом исходного сырья, используемого при создании нормализованной смеси. Так, если массовая доля жира могла варьировать в широких пределах вследствие сепарирования или концентрирования молока, то нижняя граница возможных значений массовой доли белка в сырье не могла быть менее 2,8%. Но для соблюдения оптимума жиро-белкового индекса (1,241) нижняя граница массовой доли жира должна была соответствовать — 3,475%. Таким образом, конечный вариант практически реализуемого множества рецептур в части массовых долей жира и белка соответствовал прямой в незакрашенной области Рисунка 3.

Рисунок 2

Влияние массовой доли сахарозы на динамику локальных максимумов ОБЦ и динамику соответствующих им значений массовой доли жира

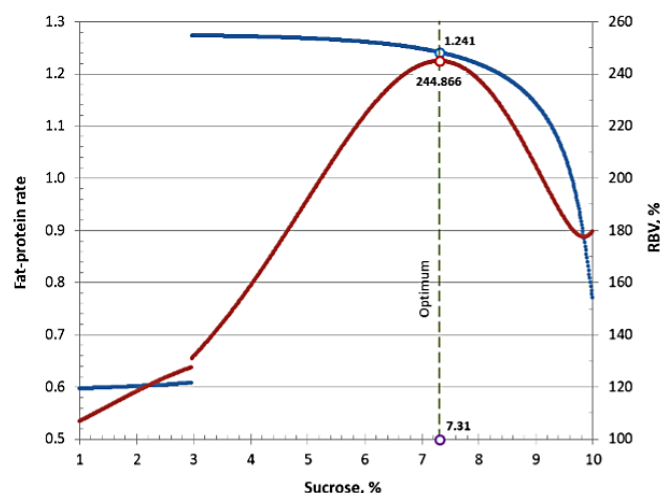
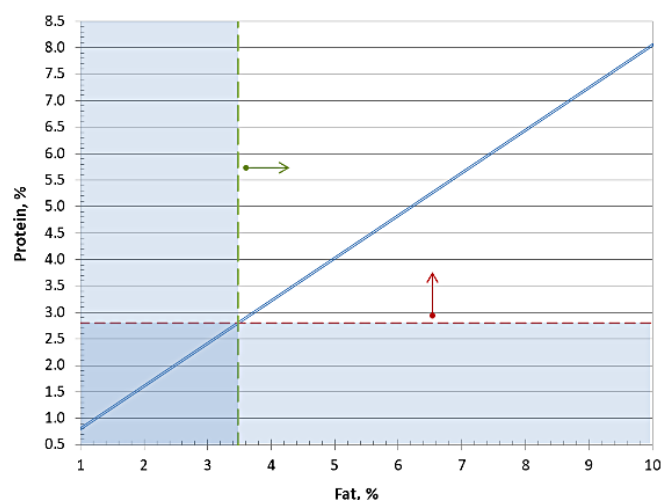


Рисунок 3

Область практически реализуемых сочетаний массовых долей жира и белка при максимуме ОБЦ



Высокая допустимая степень вариативности рецептур пробиотического кисломолочного продукта по массовой доле жира или белка в широком интервале значений при равенстве установленных основных условий обеспечения максимума ОБЦ позволило выдвинуть гипотезу о возможности существования дополнительных ограничений, сужающих допустимый интервал значений массовых долей жира или белка. Для подтверждения или опровержения данной гипотезы была проведена апробация разработанной модели на образцах с разными концентрациями массовых долей жира и белка при соблюдении условий оптимума — максимизации ОБЦ. Полученные результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные по апробации модели

Входные показатели нормализованной смеси				ОБЦ, %
массовая доля жира, %	массовая доля белка, %	массовая доля сахара, %	жиро-белковый индекс	
3,48	2,80	7,3	1,24	240 ± 16,8
3,48	2,80	7,3	1,24	242 ± 18,1
3,48	2,80	7,3	1,24	237 ± 16,6
3,48	2,80	7,3	1,24	234 ± 16,4
3,97	3,20	7,3	1,24	210 ± 14,7
3,97	3,20	7,3	1,24	202 ± 14,1
3,97	3,20	7,3	1,24	190 ± 13,3
3,97	3,20	7,3	1,24	197 ± 13,8
4,09	3,30	7,3	1,24	184 ± 12,9
4,21	3,39	7,3	1,24	172 ± 12,9
4,21	3,39	7,3	1,24	165 ± 11,5
4,21	3,39	7,3	1,24	158 ± 11,0
4,21	3,39	7,3	1,24	180 ± 12,6

Поскольку во всех образцах соблюдали постоянство жиро-белкового индекса, значения массовых долей жира и белка в составе нормализованной смеси между собой были жёстко связаны.

Таблица 2

Статистические характеристики математического описания зависимостей Q и ΔQ от массовой доли жира

Показатели	Статистические характеристики				
	коэффициенты	значения	t-значимость	R ²	F-адекватность
Q	a	0.287623	< 0.00002	0.944064	< 0.00001
	b	-0.009550	< 0.00001		
ΔQ	a	-2.347034	< 0.00001	0.907574	< 0.00001
	b	-0.009811	< 0.00001		

Анализ данных Таблицы 1 позволил сделать предварительный вывод о наличии некоторой обратной корреляции между массовой долей жира и значением ОБЦ. Следовательно, гипотеза о наличии дополнительных корректирующих факторов нашла своё подтверждение. Для уточнения разработанной модели с учётом корректирующих факторов в неё был введён корректирующий коэффициент $Q = \frac{RBV}{RBV_{ref}}$, где RBV_{ref} — референтное значение ОБЦ, равное 244,863 %. Для определения функциональной зависимости данного показателя от массовой доли жира, экспериментальные данные были аппроксимированы, в результате чего было получено математическое описание вида $Q = f_Q(\omega_F)$:

$$RBV = \exp[a + b \cdot \exp(\omega_F)],$$

где a и b — коэффициенты.

Анализ данных таблицы 1 показал также, что экспериментальная погрешность определения ОБЦ (ΔRBV) обратно коррелировала со значениями массовой доли жира. В соответствии с этим данная величина была преобразована в погрешность корректирующего коэффициента — $\Delta Q = \frac{\Delta RBV}{RBV_{ref}}$. Аппроксимация полученных значений показала, что функциональная зависимость вида $\Delta Q = f_{\Delta Q}(\omega_F)$ по форме идентична формуле (3), отличаясь лишь коэффициентами. Статистические показатели обеих зависимостей приведены в Таблице 2.

Было установлено минимально приемлемое значение коэффициента Q , соответствующее условию $RBV = 100$, то есть — $Q_{min} = 0.40839$. В этом случае функциональная зависимость корректирующего коэффициента Q от массовой доли жира представляла некоторый коридор варьирования, для которого каждому значению массовой доли жира при принятой доверительной вероятности 0,95 должен был соответствовать некоторый интервал

значений $Q \in [Q - \Delta Q; Q + \Delta Q]$. Графическое отображение коридора варьирования коэффициента Q и рассчитанных интервалов значений массовой доли жира представлено на Рисунке 4.

Анализ полученных данных показал, что при фиксированных значениях массовой доли сахарозы и жирно-белкового индекса уменьшение массовой доли жира и белка одновременно способствовало нелинейному увеличению ОБЦ, достигая референтного значения Q при $\omega_F = 3,405\%$.

С целью максимального использования доступного диапазона массовых долей жира и нивелирования эффекта минимальной массовой доли белка в нормализованной смеси при значениях ω_F , меньше $3,476\%$ (что соответствовало массовой доле белка в исходном молоке — $2,8\%$), условно разделили область определения ω_F по этому значению на два глобальных интервала — A и B . На интервале A смягчили требования к оптимизации состава нормализованной смеси: оставили постоянной только массовую долю сахарозы. В этом случае, при постоянстве минимальной массовой доли белка и уменьшении массовой доли жира жирно-белковый индекс должен был непрерывно уменьшаться. Определили кривую изменения ОБЦ на интервале A на основании формул (1) и (2). В свою очередь на интервале B определили кривую изменения ОБЦ с учётом корректирующего коэффициента: $RBV = RBV_{ref} \cdot Q$. Преобразовали реперные значения Q_{rep} в реперные значения ОБЦ: $RBV_{rep} = RBV_{ref} \cdot Q_{rep}$. Таким образом, зависимость

Рисунок 4

Коридор варьирования корректирующего коэффициента Q и интервалы варьирования

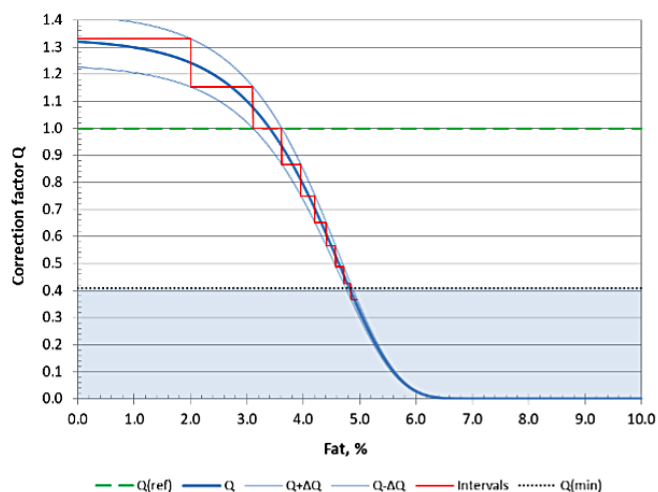
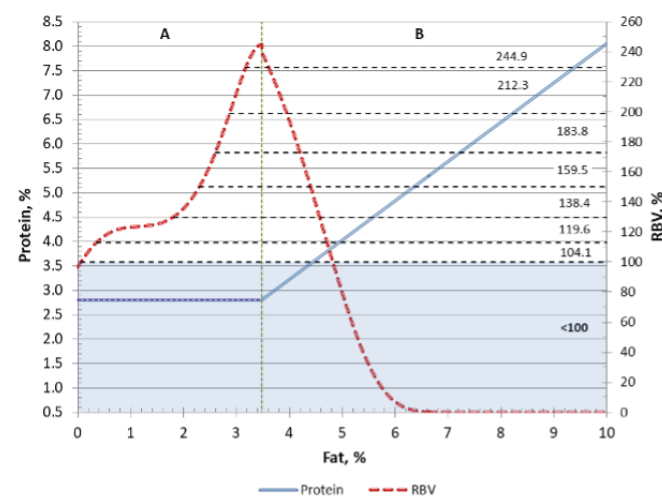


Рисунок 5

Влияние массовой доли жира на ОБЦ и рациональное множество сочетаний «жир–белок» в рецептуре



ОБЦ от массовой доли жира с делением на интервалы и финальный вариант рационального множества сочетаний «жир — белок» представлена на Рисунке 5.

По своей специфике интервалы массовой доли жира оказались вложенными друг в друга по мере увеличения реперного значения ОБЦ. Вычитая значения

Таблица 3

Интервалы массовой доли жира, соответствующие реперным значениям ОБЦ

RBV	Показатель	Интервалы			
		A		B	
		начало	конец	начало	конец
244.86	жир	3.17	3.47	3.48	3.61
	белок	2.8	2.8	2.8	2.91
212.31	жир	2.87	3.17	3.61	3.95
	белок	2.8	2.8	2.91	3.18
183.82	жир	2.6	2.87	3.95	4.2
	белок	2.8	2.8	3.18	3.38
159.49	жир	2.29	2.6	4.2	4.4
	белок	2.8	2.8	3.38	3.54
138.36	жир	1.8	2.29	4.4	4.57
	белок	2.8	2.8	3.54	3.68
119.65	жир	0.35	1.8	4.57	4.71
	белок	2.8	2.8	3.68	3.79
104.05	жир	0.06	0.35	4.71	4.84
	белок	2.8	2.8	3.79	3.9
<100	жир	<0.06		>4.84	
	белок	2.8		>3.9	

З. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

вложенных интервалов из внешних, были получены рациональные интервалы массовой доли жира, соответствующие реперным значениям ОБЦ, дифференцированно для каждого из интервалов А и В. Результаты представлены в Таблице 3.

Полученные значения могут служить критерием формирования множества рецептур для производства сахаросодержащих пробиотических кисломолочных продуктов с высоким потенциалом относительной биологической ценности. При этом следует учитывать, что область определения данного подхода ограничена в части массовой доли жира в диапазоне от 0,06 до 4,84 % и массовой доли белка — от 2,8 до 3,9 %.

ВЫВОДЫ

Апробация модели оптимизации технологического процесса производства пробиотического кисломолочного продукта и полученные математические зависимости могут служить критерием формирования множества рецептур для производства сахаросодержащих кисломолочных продуктов с высоким потенциалом относительной биологической ценности. При этом следует учитывать, что область определения данного подхода ограничена в части массовой доли жира в диапазоне от 0,06 до 4,84 % и массовой доли белка — от 2,8 до 3,9 %.

При таком подходе (разработка моделей) возможен анализ перспективных режимов для изучаемого процесса, которые в реальных условиях на стадии эксперимента не всегда удастся получить.

Применение данной модели позволило значительно сократить продолжительность исследований по оптимизации технологического процесса.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Зобкова Зинаида: формулирование идеи, исследовательских целей и задач; создание рукописи; администрирование данных; руководство исследованием; верификация данных.

Кондратенко Владимир: применение статистических и математических методов для анализа данных исследования; визуализация данных.

Пряничникова Наталия: ответственность за управление и координацию планирования и осуществления научно-исследовательской деятельности.

Зенина Дарья: проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов.

Коровина Наталья: подготовка рукописи и ее редактирование.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Лисицкая, Т. Б. (2007). *Биотестирование с использованием инфузорий* [Дисс. д. биол. н.]. СПбГТИ.

Lisitskaya, T. B. (2007). *Biotesting using infusoria* [Unpublished doctoral dissertation]. SPbSTU. (In Russ.)

Долгов, В. А. (1992). *Методологические аспекты и практическое применение ускоренной биологической оценки кормов, продуктов животноводства и других объектов ветеринарно-санитарного и экологического контроля* [Дисс. д. биол. н.]. Российская сельскохозяйственная академия.

Dolgov, V. A. (1992). *Methodological aspects and practical application of accelerated biological assessment of feeds, livestock products, and other objects of veterinary-sanitary and environmental control* [Unpublished doctoral dissertation]. Russian Agricultural Academy. (In Russ.)

Зиганшина, Г. А., Баданова, Е. А., Гаринова, Э. Р., Азизова, А. И., Щербаклова, Ю. В., & Ахмадуллина, Ф. Ю. (2015). Метод биотестирования — альтернативный метод оценки

изменения качества молока при его термообработке. *Буттлеровские сообщения*, 41(3), 156–159.

Ziganshina, G. A., Badanova, E. A., Garinova, E. R., Azizova, A. I., Shcherbakova, Y. V., & Akhmadullina, F. Y. (2015). Biotesting method — An alternative method for assessing changes in the quality of milk during thermal processing. *Butlerov Communications*, 41(3), 156–159. (In Russ.)

Карпова, М. В., Фролова, О. А. (2011). Использование *Tetrahymena pyriformis* для оценки относительной биологической ценности и токсичности молока. Материалы Всероссийского XIII конгресса нутрициологов и диетологов с международным участием «Персонализированная диетология: настоящее и будущее». *Вопросы диетологии*, 1(2), 46–47.

Karpova, M. V., & Frolova, O. A. (2011). Use of *Tetrahymena pyriformis* for Assessing the Relative Biological Value and Toxicity of Milk. *Proceedings of the All-Russian XIII Congress of Nutritionists and Dietitians with International Participation*

З. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

- «Personalized Dietetics: Present and Future». *Dietetics Issues*, 1(2), 46–47. (In Russ.)
- Журихина, Л. Н., Бондарук, А. М., & Осипова, Т. С. (2015). Определение биологической ценности ферментативного гидролизата сывороточных белков коровьего молока на *Tetrahymena pyriformis*. *Здоровье и окружающая среда*, 25(1), 202–209.
- Zhurikhina, L. N., Bondaruk, A. M., & Osipova, T. S. (2015). Determination of the biological value of the enzymatic hydrolysate of whey proteins from cow's milk on *tetrahymena pyriformis*. *Health and Environment*, 25(1), 202–209. (In Russ.)
- Левчук, Т. В., Чеснокова, Н. Ю., & Левочкина, Л. В. (2016). Исследование безопасности и относительной биологической ценности напитков на основе экстракта околплодника ореха маньчжурского. *Техника и технология пищевых производств*, 1(40), 96–102.
- Levchuk, T. V., Chesnokova, N. Y., & Levochkina, L. V. (2016). Study of safety and relative biological value of beverages based on extract of manchurian walnut pericarp. *Food Production Engineering and Technology*, 1(40), 96–102. (In Russ.)
- Шульгин, Ю. П., Блинов, Ю. Г., & Шульгина, Л. В. (2004). Биологическая экспресс-оценка мышечной ткани гидробионтов с использованием *Tetrahymena pyriformis*. *Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра)*, 136, 294–303.
- Shulgin, Y. P., Blinov, Y. G., & Shulgina, L. V. (2004). Biological express assessment of muscle tissue of hydrobionts using *Tetrahymena pyriformis*. *Proceedings of TINRO (Pacific Scientific Research Fisheries Center)*, 136, 294–303. (In Russ.)
- Зобкова, З. С., Зенина, Д. В., Фурсова, Т. П. (2015). Критерии оценки безопасности молочных продуктов с транsgлутаминой. *Молочная промышленность*, 3, 48–51.
- Zobkova, Z. S., Zenina, D. V., Fursova, T. P. (2015). Criteria for Evaluating the Safety of Dairy Products with Transglutaminase. *Dairy Industry*, 3, 48–51. (In Russ.)
- Зобкова, З. С., Методологические аспекты проектирования цельномолочных продуктов с повышенной относительной биологической ценностью. *Пищевая промышленность*, 3, 68–71.
- Zobkova, Z. S., Methodological aspects of designing whole milk products with increased relative biological value. *Food Industry*, 3, 68–71. (In Russ.)
- Zobkova, Z. S., Yurova, E. A., Semipyatniy, V. K., Lazareva, E. G., Zenina, D. V., & Shelaginova, I. R. (2022). Modification of biotesting-based fermented dairy product design for curd and curd products. *Foods*, 11(20), 3166.
- Evans, E., & Carruthers, S. (1978). Comparisons of methods used for estimating the growth of *Tetrahymena pyriformis*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29, 703–707.

Влияние компонентов пальмового масла на характер обмена веществ в организме человека: Обзор предметного поля

В.В. Шилов¹, В.В. Литвяк², Ю.Ф. Росляков³

¹ «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

² Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», г. Москва, Российская Федерация

³ Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: В настоящее время спрос на растительные масла растет во всем мире и пальмовое масло вносит значительный вклад в глобальные поставки пищевых масел. Последние несколько десятилетий наблюдается растущее общественное беспокойство по поводу значительного взаимодействия между здоровьем и питанием и в частности пальмовым маслом (ПМ).

Цель: анализ влияния компонентов ПМ на характер обмена веществ в организме человека и развитие патологических состояний.

Материалы и методы: Поиск литературы по проблеме с 1918 г. по 2023 г. осуществляли по базам данных РИНЦ, Google Scholar, PubMed по ключевым словам и словосочетаниям: «пальмовое масло», «здоровье человека», «сахарный диабет», «ожирение», «сердечно-сосудистые заболевания», «онкология», «детское питание». Перед началом исследования составлен протокол, на основании рекомендаций PRISMA <http://www.prisma-statement.org/>. Поиск проводили по 2-м вариантам: (1) путем создания запросов на сайтах баз данных и скачивание результатов; (2) с применением программы Publish or Perish. Отобранные источники сканировались вначале на основании заглавия, далее аннотации и уже попавшие в окончательный пул статьи анализировались полнотекстово. Оценку качества отобранных публикаций проводили с применением: (1) Joanna Briggs Institute Critical Appraisal tools; (2) NIH Quality Assessment Tool; (3) Methodological Index for Non-Randomised Studies (MINORS).

Результаты: Первоначальный поиск охватил 1924 документов. Через базы данных было идентифицировано 1901 документов, через другие источники – 23 документов. После удаления дубликатов осталось 347 источников. Прошли скрининг 232 публикаций. В результате скрининга было удалено 58 публикаций. Оценено 174 полнотекстовых публикаций на приемлимость, в качестве неприемлимых исключено 12 полноценных публикаций. Нами были включены в качественный синтез qualitative synthesis — 162, а в количественный синтез (мета-анализ) — 162 публикаций.

Пальмовое масло (ПМ) широко используется в пищевой промышленности, но его рафинированные формы с низким содержанием примесей и светлой окраской считаются наиболее качественными. Оно составляет значительную долю мирового производства масел. Особенности текстуры, аромата и нейтрального вкуса делают его популярным в пищевой промышленности. Различные фракции ПМ применяются для разных продуктов, от жарки до кондитерских изделий. Недавние исследования связывают потребление ПМ с разными заболеваниями, включая диабет 2-го типа, ожирение, ишемическую болезнь сердца, инсульт и рак. Однако, результаты исследований противоречивы, и влияние ПМ на здоровье может зависеть от генетики и национальных традиций питания. Поэтому, ограничение потребления ПМ в продуктах может быть целесообразным, особенно в детских смесях, где другие компоненты, такие как β -пальмитат или молочный жир, могут быть предпочтительными.

Выводы: Приведены общие сведения о ПМ в пищевой промышленности. Показана роль ПМ и пальмитиновой кислоты в развитии ожирения и СД-2, в развитии сердечно-сосудистых заболеваний, а также в возникновении онкологических заболеваний. Охарактеризованы возможности использования ПМ в детском питании. Дано мнение российских и белорусских ученых о влиянии ПМ на здоровье человека.

Ключевые слова: пальмовое масло, здоровье человека, сахарный диабет, ожирение, сердечно-сосудистые заболевания, онкология, детское питание

Корреспонденция:
Литвяк Владимир Викторович
E-mail: besserk1974@mail.ru

Конфликт интересов:
авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 24.07.2023

Принята: 15.12.2023

Опубликована: 30.12.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Шилов, В.В., Литвяк, В.В., & Росляков, Ю.Ф. (2023). Влияние пальмового масла на характер обмена веществ в организме человека. *FOOD METAENGINEERING*, 4(1), 57-84. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.13>

Influence of components of palm oil on the character of metabolism in the human body: A Scoping Review

Valery V. Shilov¹, Vladimir V. Litvyak², Yuri F. Roslyakov³

¹ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

² All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing — Branch of Russian Potato named after A.G. Lorkh, Moscow Region, Russian Federation

³ Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation

ABSTRACT

Background: The global demand for vegetable oils is increasing, and palm oil significantly contributes to the supply of edible oils worldwide. Over the past few decades, there has been growing public concern regarding the significant relationship between health and nutrition, particularly focusing on palm oil (PO).

Purpose to analyze the influence of PO components on the nature of metabolism in the human body and the development of pathological conditions.

Materials and Methods: A literature search on the problem from 1918 to 2023 was carried out using the RSCI, Google Scholar, PubMed databases using keywords and phrases: «palm oil», «human health», «diabetes mellitus», «obesity», «cardiovascular diseases», «oncology», «baby nutrition» using a personal computer. Before starting the study, a protocol was drawn up based on the PRISMA recommendations. The search was carried out using 2 options: (1) by creating queries on database sites and downloading the results; (2) using the free Publish or Perish program. The selected sources were scanned first based on the title, then the abstracts and articles already included in the final pool were analyzed in full text. The quality of the selected publications was assessed using: (1) Joanna Briggs Institute Critical Appraisal tools; (2) NIH Quality Assessment Tool; (3) Methodological Index for Non-Randomized Studies (MINORS).

Results: The initial search included 1,924 documents. 1901 documents were identified through databases, and 23 documents through other sources. After removing duplicates, 347 sources remained. 232 publications were screened. As a result of screening, 58 publications were removed. 172 full-text publications were assessed for eligibility, and 12 full-text publications were excluded as ineligible. We included 162 publications in the qualitative synthesis and 162 publications in the quantitative synthesis (meta-analysis).

Palm oil (PO) is widely used in the food industry, but its refined forms with low impurity levels and light color are considered the highest quality. It constitutes a significant portion of global oil production. Its texture, aroma, and neutral taste make it popular in the food industry, with various PO fractions used in different products, from frying to confectionery. Recent research links PO consumption to various diseases, including type 2 diabetes, obesity, heart disease, stroke, and cancer. However, research results are conflicting, and the impact of PO on health may depend on genetics and dietary traditions. Therefore, limiting PO consumption in food products can be advisable, especially in infant formulas, where other components like β -palmitate or milk fat may be preferable.

Conclusion: The role of PO and palmitic acid in the development of obesity and DM-2, in the development of cardiovascular diseases, as well as in the occurrence of cancer has been shown. The possibilities of using PO in baby food are characterized. The opinion of Russian and Belarusian scientists on the impact of PO on human health is given.

Keywords: palm oil, human health, diabetes, obesity, cardiovascular disease, oncology, baby food

Correspondence:

Vladimir V. Litvyak,
E-mail: besserk1974@mail.ru

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 24.07.2023

Accepted: 15.12.2023

Published: 30.12.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Shilov, V.V., Litvyak, V.V., & Roslyakov, Yu.F. (2023). The influence of palm oil on the nature of metabolism in the human body. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 57-84. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.13>

ВВЕДЕНИЕ

Общественное внимание все чаще обращается к вопросам взаимосвязи между здоровьем и питанием. Среди ключевых составляющих пищевого рациона человека особое место занимает жир, являющийся не только источником энергии, но и важным носителем жизненно необходимых жирных кислот. Растительные масла, включая пальмовое масло, представляют собой один из главных источников жиров в диете. Нарастающая обеспокоенность общественности связана с ролью насыщенных жирных кислот в развитии серьезных заболеваний. Исследования последних лет, такие как работы Aranceta (2012) и Assmann (2014), указывают на потенциальные негативные эффекты этих жирных кислот, особенно в контексте сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). Эти данные подтверждаются рекомендациями, направленными на снижение потребления насыщенных жирных кислот с целью уменьшения риска развития ССЗ. Кроме того, актуальность исследований в этой области подчеркивается связью между потреблением насыщенных жирных кислот и проблемами ожирения (ОЖ), а также влиянием на возникновение онкологических заболеваний, как отмечается в исследованиях Berger (2014).

В этом контексте пальмовое масло, являющееся одним из основных источников насыщенных жирных кислот в рационе многих людей по всему миру, привлекает особое внимание исследователей и общественности. Важность изучения пальмового масла усиливается его широким распространением и значительным вкладом в глобальное производство растительных масел.

Цель исследования — анализ влияния компонентов пальмового масла (ПМ) на характер обменных процессов в организме человека, развития ожирения, сахарного диабета 2-го типа (СД-2), ССЗ и онкологических заболеваний.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Заявление о транспарентности

Перед началом исследования был составлен протокол. Авторы подтверждают, что данная рукопись является честным, точным и транспарентным изложением представляемого исследования; что никакие важные аспекты исследования не были упущены; и что отклонения от запланированного исследования были объясне-

ны. Здесь мы кратко излагаем методы нашего исследования. Значительные части описанных здесь методов взяты непосредственно из оригинального протокола. Мы использовали положения PRISMA¹, чтобы руководствоваться при составлении отчета об этом обзорном исследовании.

Базы данных

Поиск литературы по проблеме с 1918 по 2023 гг. осуществляли по базам данных ПИНЦ, Google Scholar, PubMed, Web of Science по ключевым словам и словосочетаниям: «пальмовое масло», «здоровье человека», «сахарный диабет», «ожирение», «сердечно-сосудистые заболевания», «онкология», «детское питание», «palm oil», «human health», «diabetes», «obesity», «cardiovascular disease», «oncology», «baby food».

Поиск проводили по двум вариантам:

- (1) путем создания запросов на сайтах баз данных и скачивание результатов, а также
- (2) с применением бесплатной программы Publish or Perish.

Отбор источников

Критерии включения

Критериями включения литературных источников являлось следующее:

Общие критерии включения:

- (1) Доступность литературных источников (возможность максимально полно ознакомиться с литературным источником).
- (2) Максимально возможная глубина проработки рассматриваемого вопроса и новизна литературных источников (год издания: с 1918 г. по настоящее время).
- (3) Особенности издания (достоверность издания, научный рейтинг издания).
- (4) Рассматривались издания на русском и английском языках.

Специализированные критерии включения:

- (1) Рассматривались только научные публикации (статьи, монографии), а также патенты на изобретения.
- (2) Тематика литературного источника:
 - общие сведения о пальмовом масле в пищевой промышленности;

- пальмовое масло и пальмитиновая кислота: роль в развитии ожирения и сахарного диабета 2-го типа;
- пальмовое масло и пальмитиновая кислота: роль в развитии сердечно-сосудистых заболеваний;
- пальмовое масло и пальмитиновая кислота: роль в возникновении онкологических заболеваний;
- пальмовое масло в детском питании;
- мнение отечественных и зарубежных учёных о влиянии пальмового масла на здоровье.

Критерии исключения

Критериями исключения литературных источников являлось следующее:

Общие критерии включения:

- (1) Недоступность литературных источников (невозможность максимально полно ознакомиться с литературным источником).
- (2) Устаревшие литературные источники до 1918 г.
- (3) Особенности издания (недоверенность и подозрительность издания, не научные издания, а также низкий научный рейтинг).
- (4) Литературные источники не на русском и не на английских языках не рассматривались.

Специализированные критерии включения:

- (1) Не рассматривались научно-популярные издания публикации.
- (2) Не рассматривались издания, тематика которых не соответствовала исследуемой проблеме.

Анализ и извлечение данных

Оценку качества отобранных публикаций проводили с применением следующих ресурсов:

- (1) Joanna Briggs Institute Critical Appraisal tools;
- (2) NIH Quality Assessment Tool;
- (3) Methodological Index for Non-Randomised Studies (MINORS).

Отобранные по ключевым словам источники сканировались вначале на основании названия, далее аннотации и уже попавшие в окончательный пул статьи анализировались полнотекстово. По результатам анализа и извлечения данных в научный обзор было включено

152 библиографических источника из следующих научных журналов: «Annals New York Academy of Sciences», «Annals of Nutrition and Metabolism», «Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine», «American Journal of Clinical Nutrition», «American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology», «American Journal of Diseases of Children», «Archives of Biochemistry and Biophysics», «American Journal of Epidemiology», «Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition», «American Journal of Physiology — Endocrinology and Metabolism», «Archives of Disease in Childhood — Fetal and Neonatal Edition», «Annals of Medicine», «Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology», «Annual Review of Medicine», «Archives of Internal Medicine», «British Journal of Nutrition», «Biochemical and Biophysical Research Communications», «British Journal of Cancer», «Journal of Nutrition», «Journal of Biological Chemistry», «Journal of the American College of Nutrition», «Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition», «Journal of Nutritional Biochemistry», «Journal of Endocrinology», «Journal of Lipid Research», «Journal of Pediatrics», «Journal of the National Cancer Institute», «Journal of Cellular Physiology», «Journal of Oleo Science», «Journal of International Medical Research», «Nutrition», «Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases», «Nutrition Research Reviews», «Nutrition Journal», «Nature Immunology», «Nutrition & Metabolism», «Nutrition Reviews», «Nutrition and Cancer», «International Journal of Food Sciences and Nutrition», «International Journal of Cancer», «Indian Journal of Pharmacology», «International Journal of Obesity», «International Journal of Clinical and Experimental Medicine», «Carcinogenesis», «Clinical and Translational Oncology», «Current Pharmaceutical Design», «Cancer Research», «Cancer Causes & Control», «Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention», «Clinical Nutrition», «Clinical & Experimental Metastasis», «Obesity», «Diabetes», «Globalization and Health», «Lipids», «Lancet», «Lancet Diabetes & Endocrinology», «Lipids in Health and Disease», «European Journal of Lipid Science and Technology», «European Journal of Endocrinology», «Endocrinology», «Early Human Development», «European Journal of Clinical Nutrition», «Molecular and Cellular Endocrinology», «Molecular and Cellular Biology», «Molecular Aspects of Medicine», «Plant Foods for Human Nutrition», «Physiological Reviews», «Progress in Lipid Research», «Preventive Medicine», «Pediatrics», «Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America», «World Journal of Diabetes», «World Journal of Cardiology», «Food Bioscience», «Food

and Nutrition Bulletin», «Клиническая лабораторная диагностика», «Медицинский совет», «Известия НАН Беларуси. Серия медицинских наук», «Вопросы питания», «Наука и жизнь», «Журнал Гродненского государственного медицинского университета».

Введенные сокращения

ПМ — пальмовое масло, ПЯМ — пальмоядровое масло, ЖК — жирные кислоты, ПК — пальмитиновая кислота, ХС — холестерин, ХС-ЛПНП — холестерин липопротеинов низкой плотности, ХС-ЛПВП — холестерин липопротеинов высокой плотности, ХС-ЛПОНП — холестерин липопротеинов очень низкой плотности, ИБС — ишемическая болезнь сердца, СД-2 — сахарный диабет 2-го типа, ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания, ОЖ — ожирение, ТАГ — триацилглицериды, СК — стеариновая кислота, ОК — олеиновая кислота, ЛАК — лауриновая кислота, МК — миристиновая кислота,

ЛИК — линолевая кислота, По — пальмитовый олеин, ПС — пальмитовый стеарин, ЛПС — липополисахариды, ГЭЖК — глицидиловые эфиры жирных кислот, 2-МХПД — 2-моноклорпропандиол, 3-МХПД — 3-моноклорпропандиол, И — инсулин, Ж — жир, М — масло, ПП — пищевая промышленность, ОЗ — онкологические заболевания, ДС — детские смеси.

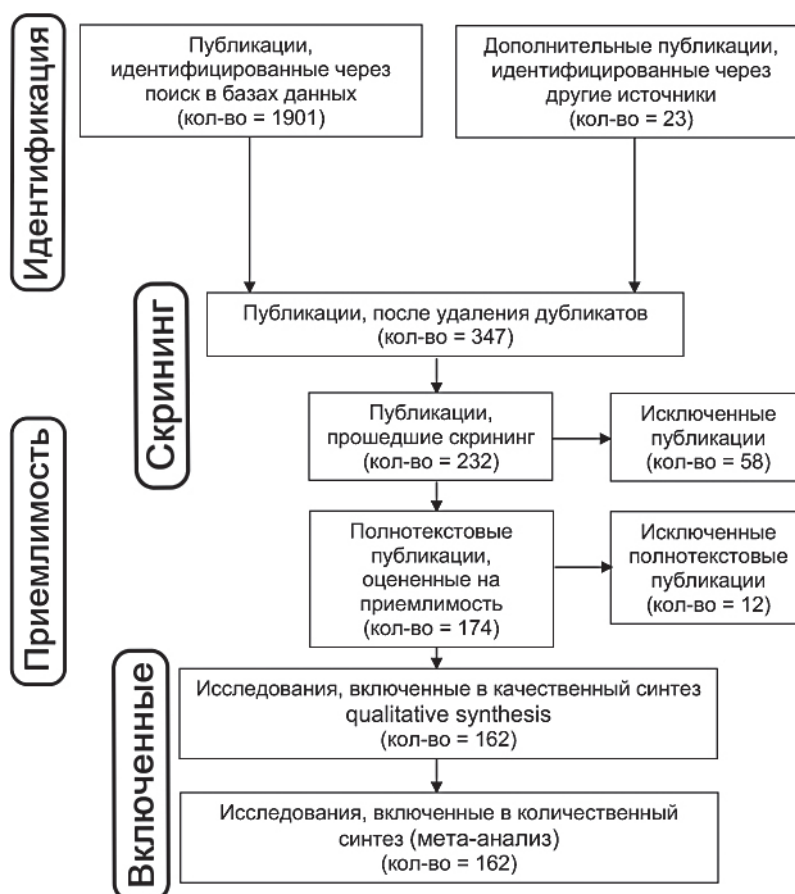
РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты поиска и эпидемиологические характеристики

На Рисунке 1 показана блок-схема протокола исследований, составленная авторами на основании рекомендаций PRISMA¹, которая демонстрирует поток документов и статей в ходе обзора. Первоначальный поиск охватил 1924 документов. Через базы данных было идентифицировано 1901 документов. Кроме этого, через

Рисунок 1

Блок-схема протокола исследований, составленная авторами на основании рекомендаций PRISMA



другие источники было идентифицировано 23 документов. После удаления дубликатов осталось 347 источников. Прошли скрининг 232 публикаций. В результате скрининга было удалено 58 публикаций, как не полностью соответствующих тематике поисков. Было оценено 174 полнотекстовых публикаций на приемлимость. При этом в качестве неприемлимых было исключено 12 полноценных публикаций. Нами были включены следующее количество публикаций в: качественный синтез *qualitative synthesis* — 162, количественный синтез (мета-анализ) — 162.

Общие сведения о ПМ в пищевой промышленности (ПП)

В настоящее время спрос на растительные масла (М) растет во всем мире и ПМ вносит значительный вклад в глобальные поставки пищевых М. ПМ не содержит генетически модифицированных организмов и производится его на единицу площади в 10 раз больше по сравнению с другими масличными культурами. В 2014 г.

на долю ПМ приходилось 32% от общего количества Ж и М, производимых в мире и, тем самым, ПМ обогнало соевое М, которого ранее производилось больше всего (Mba, 2015). Пальмовое дерево (*Elaeis guineensis*) является древним тропическим растением, произрастающим во многих странах Западной Африки, где местное население традиционно используют М из него для приготовления пищи и других целей (Во всех тропических регионах мира в сельскохозяйственной культуре встречаются плантации масличной пальмы. При этом главные мировые производители ПМ — Малайзии и Индонезии, на их долю приходится 86% мирового производства ПМ (Рисунок 2). Также важными странами производителями ПМ являются: Нигерия, Таиланд, Колумбия, Папуа Новая Гвинея, Кот-д'Ивуар, Индия и Бразилия.

Из плодов пальмы извлекают 2 разных типа ПМ: (1) пальмоядровое масло (ПЯМ) из ядер плодов и (2) ПМ из мезокарпия-межплодника (Рисунки 3 и 4). Пищевое ПМ, которое имеется в мезокарпии пальмового плода, извлекается при помощи разных методов. Наиболее рас-

Рисунок 2

Основные регионы производства и потребления ПМ



Примечание: Рисунок создан авторами.

Рисунок 3

Внешний вид ПМ



Пальмовый олеин (ПО)



Пальмовый стеарин (ПС)

Примечание: Рисунок создан авторами.

Рисунок 4

Особенности производства ПМ



Примечание: Рисунок создан авторами.

Схема производства пальмового масла



пространенными методами извлечения ПМ из мезокарпии пальмового плода является влажный или сухой отжим (Mba, 2015).

Сырое ПМ, известное также как красное ПМ, извлеченное влажным или сухим отжимом, содержит триа-

цилглицериды (ТАГ), витамин Е, каротиноиды, фитостеролы, а также ряд примесей, таких как фосфолипиды, свободные ЖК, камеди и продукты окисления липидов. Продукты окисления липидов удаляют в процессе рафинирования — путем центрифугирования и сушки, а высушенное ПМ потом охлаждают и хранят в соот-

ветствующих контейнерах (Sambanthamurthi, 2000; Obibuzor, 2012).

ПЯМ представляет самый богатый природный источник каротиноидов (500–700 ppm), токоферолов и токотриенолов (600–1200 ppm), которые повышают устойчивость к окислению стабильности и питательные свойства (Mba, 2015; Sambanthamurthi, 2000; Edem, 2002; Sundram, 2003; Souganidis, 2013). Антиоксидантные свойства этих биологически активных соединений, проявляются в основном против активных форм кислорода, играют определенную роль в замедлении процессов старения, в снижении риска ССЗ и в профилактике рака (Edem, 2002; Ong, 2002; Sen, 2007). Кроме того, сообщается, что токотриенолы являются природными ингибиторами синтеза холестерина (ХС) и нормализуют липидный обмен (Edem, 2002).

Несмотря на высокое качество ПЯМ и его полезные свойства, пищевая промышленность требует ПМ светлого цвета, что предполагает его обязательную очистку с помощью химической обработки (щелочью или кислотой) (Čmolíková, 2000; Dunford, 2012) или физическими методами (рафинирование паром, отгонки легких фракций инертным газом, молекулярной дистилляции, мембранной фильтрации и т.д.) (Dunford, 2012; Gunstone, 2011). После отбелки и дезодорирования ПМ, применяются и другие способы очистки. Например, после щелочной обработки, примесив в виде камедей удаляют центрифугированием. Летучие продукты удаляют путем перегонки при более высокой температуре и пониженном давлении. ПМ, полученное в процессе такой обработки бесцветно, пресно и стабильно. С другой стороны, обработка щелочью вызывает потери полезных нейтральных ТАГ (Dunford, 2012; Gunstone, 2011), а также вызывает окислительные процессы (Dunford, 2012). Поэтому, очищенное ПМ имеет более низкую стабильность при хранении, чем красное ПМ. В нем также дополнительно удаляют также фосфор в процессе дегумирования, чтобы избежать присутствия фосфорной кислоты в конечном продукте (Dunford, 2012).

Дезодорированное ПМ с низким содержанием свободных ЖК, низким содержанием примесей и хорошо отбеленное считается продуктом высокого качества и для использования в ПП, а красное ПМ — наоборот, продуктом низкого качества М, которое используется для технических целей: для производства биотоплива, свечей, косметики и мыла (Henson, 2012). ПМ и ПЯМ имеют различные физические и химические свойства, в зави-

симости от их предполагаемого применения (Mba, 2015; Ong, 2002). Как показано в Таблице 1, ПЯМ содержит 85 % насыщенных ЖК, в основном это лауриновая кислота (ЛАК) и миристиновая кислота (МК), в то время как ПМ содержит 50 % насыщенных ЖК (пальмитиновую кислоту (ПК) — 44 % и стеариновую кислоту (СК) — 5 %), а также 40 % мононенасыщенных ЖК — в основном, олеиновую кислоту (ОК), и 10 % полиненасыщенных ЖК — в основном линолевая кислота (ЛИК) (Sambanthamurthi, 2000; Edem, 2002; Gee, 2007). ПК является главным компонентом ПМ, а также Ж человеческого молока (Jensen, 1996).

Таблица 1

Состав ЖК ПМ из мезокарпия и ПЯМ

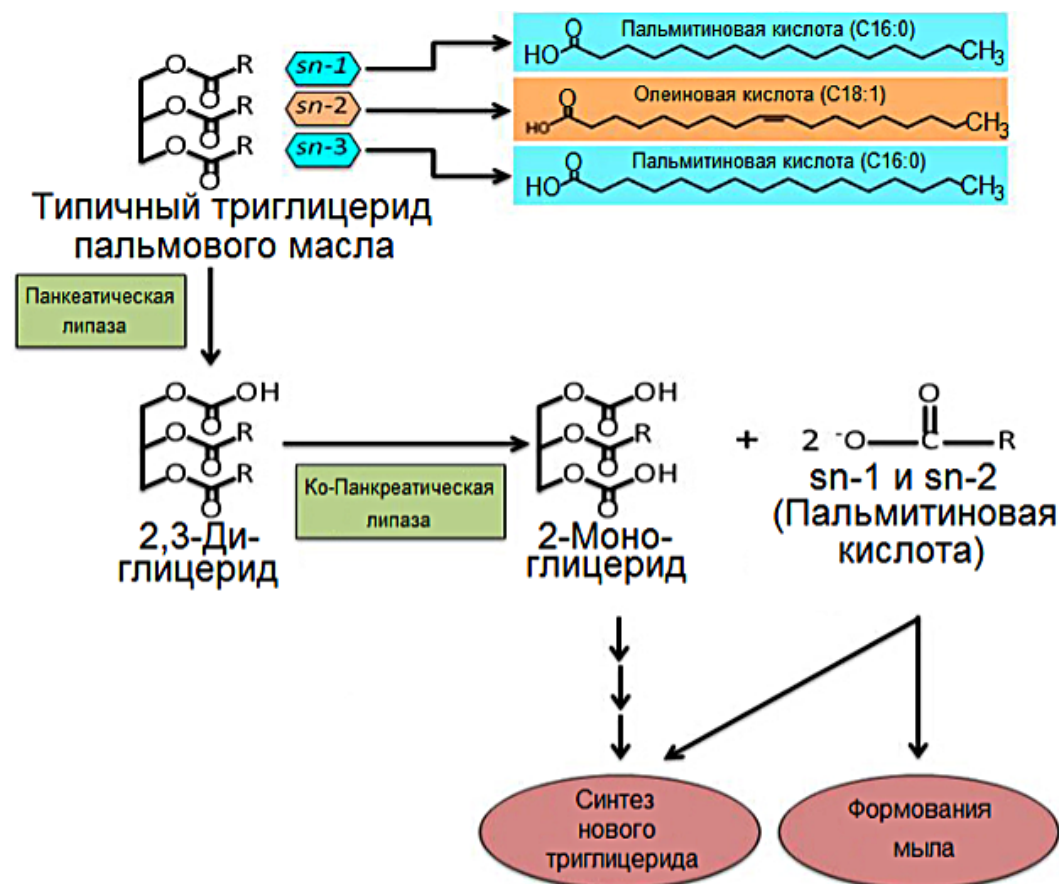
ЖК	ПМ	ПЯМ
Капроновая кислота (6:0)	—	0,2
Каприловая кислота (8:0)	—	3,3
Каприновая кислота (10:0)	—	3,5
ЛАК (12:0)	47,8	0,2
МК (14:0)	1,1	16,3
ПК (16:0)	44,0	8,5
СК (18:0)	4,5	2,4
ОК (18:1)	39,2	15,4
ЛИК (18:2)	10,1	2,4
Линоленовая кислота (18:3)	0,4	—
Арахидоновая кислота (20:0)	0,1	0,1
Всего: насыщенных ЖК	49,9	82,1
Всего мононасыщенных ЖК	39,2	15,4
Всего мононенасыщенных ЖК	10,5	2,4

Примечание. Таблица составлена авторами.

Применение рафинированного ПМ в ПП растет в геометрической прогрессии ввиду потребительских свойств этого продукта: текстуры, аромата и нейтрального вкуса. ПМ имеет 2-е основные фракции: (1) жидкий — ПО (65–75 %), с низкой температурой плавления и (2) тугоплавкий твердый — ПС (30–35 %). Различные фракции ПМ по-разному используются в ПП. ПО используется для жарки (из-за высокой температуры дымления, 230°C и при производстве маргарина и майонеза. ПС — в качестве заменителей М (Mba, 2015). ПМ входит в состав конфет, хлебобулочных изделий, шоколада, кондитерских Ж, тортов, сыра, чипсов, печенья, растительных М, крекеров, пончиков, замороженных блюд (пирожки, пицца, блины, картофель), мороженого,

Рисунок 5

Схематическое изображение гидролиза типичного ТАГ ПМ



Примечание. ПК, основная насыщенная ЖК ПМ, находится в SN-1 и SN-3 положениях ТАГ; другая насыщенная ЖК – ОК, находится в SN-2 положении; после переваривания, Ж участвуют в ресинтезе новых ТАГ и/или образовании Ca^{2+} или Mg^{2+} мыла. Рисунок создан авторами.

маргаринов, попкорна, лапши быстрого приготовления, растительных сливок, заправок для салатов, арахисового М, закусок, биологически активных добавок, супов, витаминов, спредов.

Несмотря на то, что некоторые эксперты считают, что ПО, содержащий около 48% ОК, может быть заменой оливкового М в здоровом рационе человека (Sambanthamurthi, 2000), дебаты, связанные с потенциальными последствиями для здоровья, в основном из-за высокого содержания ПК, продолжаются (Odia, 2015; Fattore, 2013; 2014; Bester, 2010). Тем не менее, ПМ, как и все растительные М не содержит ХС, Ж его состоят в основном из ТАГ ОК, преимущественно локализованных в положении SN-2, и ПК в SN-1 и SN-3 поло-

жениях (Рисунок 5). У ПК и СК ТАГ часто находятся в позиции SN-2, в отличие от Ж животного происхождения (Sambanthamurthi, 2000; May, 2014).

Пальмовое масло и пальмовая кислота: роль в развитии ОЖ и СД-2

ОЖ является метаболическим заболеванием, которое характеризуется избыточным накоплением белой жировой ткани в результате избытка энергии, запасенной в адипоцитах виде ТАГ, ответственных за их гипертрофию и гиперплазию (Dixon, 2010). В последние годы ОЖ приобрело масштабы эпидемии: около 1,9 млрд взрослых людей по всему миру и 42 млн детей в возрасте до 5

лет страдают ОЖ1. Заболеваемость и смертность, связанные с ОЖ, СД-2, гиперлипидемией и артериальной гипертензией, экспоненциально увеличилась (Korelman, 2000). Эти процессы стимулируют синтеза дипокинов, которые отвечают за хронические воспалительные процессы и метаболические нарушения, связанные с ОЖ (Exley, 2014). Жировая ткань при ОЖ содержит повышенное количество насыщенных ЖК, активирующих рецептор Toll-4 (TLR4) — опосредующий сигналы воспаления (Ajuwon, 2005; Bradley, 2008; Wang, 2013).

Насыщенные ЖК стимулируют также противовоспалительные механизмы посредством продукции активных форм кислорода TLR-независимым путем. Активные формы кислорода регулируют активацию зрелого интерлейкина-1 β (IL-1 β) из его неактивного предшественника про-интерлейкина-1 β (Ting, 2008; Franchi, 2009). Как следствие этого, интерлейкин-1 β оказывает даун-регулирующее влияние на инсулиновую сигнализацию в клетках-мишенях инсулина, обеспечивая воспалительный ответ, индуцированный насыщенными ЖК и приводит к развитию инсулинорезистентности (Jager, 2007; Wen, 2011).

Была обнаружена связь между высоким содержанием Ж, воспалением и наличием провоспалительных продуктов в плазме крови и, гибелью граммотрицательной

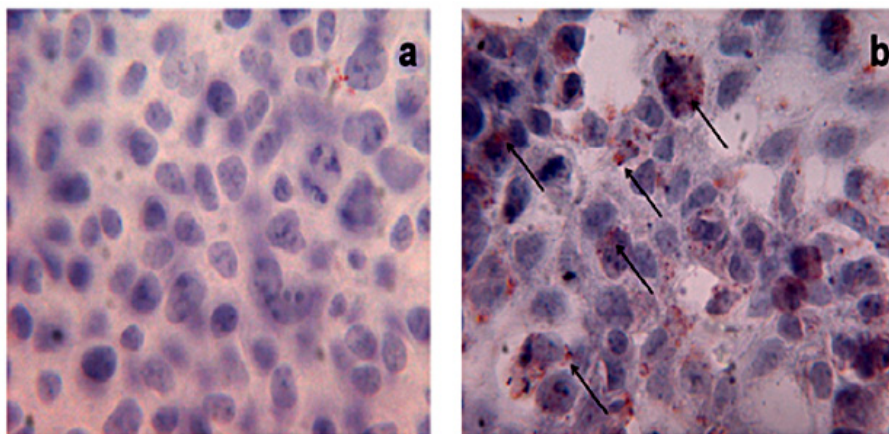
кишечной микрофлоры под влиянием липополисахаридов (ЛПС) или эндотоксинов (Cani, 2007; Cani, 2008). ЛПС, связанные с ЛПС-связывающими белками, индуцируют воспаление через активацию TLR-4 рецепторов и увеличение секреции в плазме провоспалительных цитокинов, таких как интерлейкин-1 β (Stoll, 2004). Более того, некоторые исследования показали, что метаболическая эндотоксемия может развиваться с участием ЛПС в процессе поглощения переваривания большого количества липидов (Ghoshal, 2009; Laugerette, 2011). Laugerette и соавторы установили, что ПМ увеличивает секрецию интерлейкина-1 β в адипоцитах 3T3-L1, в отличие от МК, ЛИК или α -ЛИК (Laugerette, 2012). Эти авторы продемонстрировали также синергетический эффект ПК и ЛПС в модуляции воспалительных процессов при использовании диет с различным содержанием Ж. ПМ, поступающее с пищей, индуцирует продукцию большого количества маркеров воспаления (интерлейкина-1 β , TLR4 и CD14) в плазме по сравнению с другими исследованными маслами у мышей (Laugerette, 2012).

Существует все больше доказательств связи между ОЖ и изменениями в микрофлоре кишечника (Ley, 2005; Musso, 2011). ПМ характеризуется большим коэффициентом усиления и накопления печеночных липидов у мышей линии C57BL/6J, одновременно с уменьшением микробного разнообразия в кишечнике по сравнению с другими М (оливковое М или сафлоровое М) (De Wit, 2012). Эти наблюдения подтверждают гипотезу о том, что чрезмерное потребление ПМ в рационе вызывает из-

¹ Всемирная организация здравоохранения. Ожирение и избыточный вес. <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

Рисунок 6

Накопление ТАГ в клетках HEK293



Примечание. Окрашенные необработанные (а) и (б) обработанные ПК (1 мМ) клетки HEK293; красные точки указывают на депонирование ТАГ; увеличение $\times 40$. Рисунок позаимствован (Musa, 2012).

менения в компонентах микробиоты кишечника и определяет накопление липидов. Накопление ТАГ, опосредованное высокими дозами ПК (500 мкМ и 1 мМ) было также описано в клетках человека HEK293 (Рисунок 6) (Musa, 2012), при этом отмечалась существенная роль расщепления белка-3 (UCP3) в метаболизме ЖК с длинной цепью, таких как ПК. Эффекты интрацеребровентрикулярной инъекции ПМ на нагипоталамусную сигнализацию лептина, секрецию воспалительных маркеров энергетического метаболизма в печени недавно были проанализированы в экспериментах на мышах линии C57BL/6J (Cheng, 2015). Сообщается, что высокие дозы ПК вызывают противоспалительные реакции и резистентность к лептину, предрасполагающему к ОЖ. Тем не менее, не достаточно понятно влияние ПК на гипоталамус при высокожировой диете.

Еще одним важным аспектом является соотношение между питанием с различным содержанием липидов, потребляемых во время беременности и лактации и развитием ОЖ во взрослой жизни. Характер питания плода оказывает влияние на развитие ОЖ и/или заболеваний, связанных с ОЖ, в дальнейшей жизни (Thompson, 2007; Barker, 2004). Несколько исследований, проведенных на животных моделях, показали, что, потребление в период лактации диет, насыщенных Ж, выделенными из ПМ и/или частично гидрогенизированными Ж, вызывает накопление Ж у детенышей (Silva, 2006). На самом деле, потребление матерями ПМ и этерифицированных Ж из него, в составе обработанных пищевых продуктов, способствует развитию ОЖ у потомства во взрослой жизни (Magri, 2015).

При ОЖ увеличивается продукция провоспалительных цитокинов, таких как TNF- α , IL-6, лептин и адипонектин, влияющих как на секрецию и эффективность действия инсулина, так и на развивающуюся недостаточность функции β -клеток (De Rosa, 2013; Jiao, 2011; Kharroubi, 2015). На самом деле, ОЖ и СД-2 сильно взаимосвязаны, и их перекрывание приводит к большому количеству метаболических заболеваний, включая метаболический синдром (Daniele, 2008; Gallagher, 2015). Окислительный стресс существенно увеличиваются при СД-2, способствуя эндотелиальной дисфункции, которая провоцирует развитие артериальной гипертензии и других ССЗ у больных СД-2. В последнее время СД-2 связывают также с активацией иммунной системы и воспалением (Zhang, 2010). Роль потребления ПМ в развитии СД-2 является спорным вопросом, потому что трудно точно

различать эффекты ПМ и/или других жировых компонентов диеты. Некоторые данные свидетельствуют о том, что диета с добавлением ПМ ухудшает толерантность к глюкозе у мышей (Kochikuzhyil, 2010). Это может быть связано со снижением чувствительности к инсулину (И), вызванной диетой, содержащей ПМ и, соответствующим увеличением сывороточных ТАГ, повышающих резистентность к И (Storlien, 2000). Кроме того, несколько исследований, с участием животных и людей, показали, что состав ЖК в их рационе, влияет на текучесть фосфолипидов в мембранах мышечных клеток и лиганд-рецепторное взаимодействие инсулиновых рецепторов с И (Ariyama, 2010). Применение ПМ привело к уменьшению индуцированной И скорости поглощения глюкозы жировыми клетками крыс, в отличие от подсолнечного масла (Van Amelsvoort, 1986).

Исследования ПМ, проведенные на людях, дали противоречивые результаты. ПМ, которое давали в течение 4-х недель 30 больным СД-2, не оказало существенного влияния на концентрацию глюкозы в плазме крови (Kritchevsky, 2002). В другом исследовании, проведенном на 39 пациентах, было установлено, что, чрезмерное потребление насыщенных ЖК, содержащихся в ПМ (в основном ПК) приводило к накоплению висцерального Ж в печени (Rosqvist, 2014). В крупном клиническом исследовании EPIC-InterAct, проведенном на 12403 больных-европейцах с СД-2, было установлено, что различные насыщенные ЖК (МК, ПК и СК) оказывают различное влияние на течение этого заболевания. Интересно отметить, что авторами исследования было подчеркнуто, что ПК может также быть синтезирована эндогенно посредством неополигонолиза, метаболического пути, стимулируемого повышенным потреблением углеводов и спирта. Все это вносит дополнительные сложности в определении степени влияния ПМ на развитие и течение СД-2, т.к. очень трудно провести различие между эндогенными и экзогенными эффектами ПК (Forouhi, 2014).

Кроме того, исследования *in vitro* показали, что ПК непосредственно снижает секрецию И в культуре гепатоцитов крыс, а также жизнеспособность клеток поджелудочной железы и секреции И (Yang, 2013). Были предложены 3 основных механизма этого процесса: (1) *Снижение жизнеспособности и индукции апоптоза путем стрессорного воздействия на эндоплазматический ретикулум*. В клетках Лангенгарса крысы, ПК вызывает токсический эффект. Такие же токсические эффек-

ты насыщенных ЖК были описаны в разных типах клеток (Jiao, 2011; Simon-Szabó, 2014; Wei, 2006; Diakogiannaki, 2008). Кроме того, насыщенные ЖК могут напрямую взаимодействовать с мембранным бислоем эндоплазматического ретикулума, изменяя его морфологию и функцию (Ariyama, 2010); (2) *Ингибирование фосфорилирования, стимулируемого И*. ПК заметно ухудшает процесс фосфорилирования и, следовательно, активацию инсулиновых рецепторов в нескольких типах клеток, что способствует к возникновению резистентности к И (Mordier, 2007); (3) *Убиквитинирование ключевых инсулиновых сигнальных молекул*. ПК облегчает убиквитинирование и, следовательно, вызывает деградацию протеосом рецептора И, субстрата инсулинового рецептора-1 и Akt-субстрата (Ishii, 2015).

ПМ и ПК: роль в возникновении онкологических заболеваний (ОЗ)

Существует достаточное количество данных о том, что в дополнение к известным факторам риска, потребление Ж играет важную роль в определении риска развития ОЗ (Hodge, 2015; Jackson, 2012; Shen, 2012; Brouwer, 2004). В течение многих десятилетий эпидемиологические исследования показали прямую связь между общим потреблением Ж и риском ОЗ молочной железы, колоректального и ОЗ простаты. Исходя из этих данных, можно предположить, что пища с высоким содержанием Ж (> 25 % Ж) вызывает значительный риск развития ОЗ по сравнению с питанием с низким содержанием Ж (<20 % Ж). Эта гипотеза подтверждается также данными ряда исследований, проведенных в последнее время. При исследовании женщин в состоянии постменопаузы, была обнаружена положительная связь между общим потреблением ПК и СК и заболеваемостью ОЗ молочной железы (Sczaniewska, 2012). В другом когортном клиническом исследовании было показано, что высокие уровни потребления ПК связаны с увеличением риска ОЗ молочной железы в постменопаузе на 89 % (Saadatian-Elahi, 2004). Несмотря на то, что это ряд исследований подтверждает гипотезу риска ОЗ молочной железы, связанного с потреблением Ж, другим проспективным исследованием не удалось подтвердить эту гипотезу. В них сообщается об отсутствии такой связи (Sieri, 2008) или даже о том, что потребление мононенасыщенных ЖК приводит снижению риска ОЗ (Wolk, 1998; Lof, 2007). Лишь немногие исследования сообщили о значительном повышении риска развития ОЗ мо-

лочной железы, связанных с потреблением мононенасыщенных ЖК (Thiebaut, 2007).

Клиническое когортное исследование случай-контроль, проведенное в Шотландии, показало, что, ПК вместе с другими мононенасыщенными и насыщенными ЖК напрямую связаны с риском развития ОЗ прямой кишки в зависимости от дозы; с другой стороны, были названы и другие возможные факторы, такие как семейная история ОЗ, уровень потребления калорий/или потребления клетчатки, наркотики, курение, индекс массы тела, а также физическая активность (Theodoratou, 2007).

Что касается ОЗ предстательной железы, то данные эпидемиологических исследований противоречивы. Проспективное исследование, проведенное в Японии показало, что ПК повышает риск развития ОЗ предстательной железы в зависимости от дозы (Kurahashi, 2008). Аналогичные результаты получены в другом исследовании, проводившемся по принципу случай-контроль (Crowe, 2008). Однако, Jackson и соавторы установили, как высокие уровни поступления в организм человека с пищей мононенасыщенных ЖК, а также умеренные их концентрации в плазме обратно пропорционально связаны с развитием ОЗ простаты (Jackson, 2012).

Противоречивые результаты этих исследований могут быть обусловлены различными причинами: 1) размером выборки, которая, возможно, не была достаточно большой, чтобы наблюдать статистически значимую положительную связь; 2) использованием различных биомаркеров ЖК в крови или жировой ткани с различной временной экспозицией; действительно, профиль ЖК в жировой ткани отражает относительное потребление в течение 2-х лет, в то время как уровень ЖК в крови указывает на недавнее их потребление; 3) гетерогенностью популяций исследования, которые показывают различные характеристики (например, возраст, гормональный статус, индекс массы тела, физическая активность); 4) дополнительными факторами риска развития ОЗ (ОЖ, вес, курение, наркотики и алкоголь) и других патологических состояний (наличие или не от ОЗ), влияющих на метаболизм липидов и, как следствие, потребление ЖК. В исследованиях *in vitro* и на животных моделях было обнаружено различное влияние насыщенных ЖК, таких как ПК и других, были на пролиферацию клеток и развитие опухолей (Hardy, 2000; Rossini, 2013).

Противоречивые результаты этих работ могут быть связаны с различными способами введения ЖК животным.

Тем не менее, такие результаты подняли новые вопросы о ключевой роли ЖК (насыщенных, моновенасыщенных, полиненасыщенных), а не только их количеств и развитии ОЗ. Имеются данные о том, что ЛИК, и др., относящиеся к группе омега-6 полиненасыщенных ЖК, стимулируют развитие ОЗ молочной железы, ОЗ предстательной железы и колоректального (Bartsch, 1999; Kolonel, 1999). В то время как полиненасыщенные омега-3 ЖК линоленовой группы, особенно морского происхождения (эйкозапентаеновая кислота и докозагексаеновая кислота), напротив, тормозят рост опухолей (Escrich, 2006). Rossini и соавторы установили в экспериментах на мышах, что диета, лишенная ЖК снижает вероятность возникновения опухолей молочных желез, но не влияет на скорость роста опухоли (Rossini et al., 2013). В связи с тем, что люди не в состоянии долго находиться на такой без жировой диете, исследователи предположили, что лишенная Ж диета может препятствовать возникновению ОЗ, но не оказывает никакого эффекта на онкогенез. Аналогично ОЗ молочной железы, в исследовании Hodge и соавторов, проведенном в 2015 г. не выявлено никакой связи между потреблением ПК, моновенасыщенных ЖК, полиненасыщенных омега-6 ЖК и развитием ОЗ прямой кишки и ОЗ толстой кишки, и, в то же самое время, было установлено, что полиненасыщенные омега-3 ЖК, связанные с риском развития ОЗ (Hodge, 2015).

Все представленные исследования, проведенные как на животных моделях, так и в клинике, подтверждают гипотезу о том, что, в дополнение к общему количеству потребленных ЖК, их соотношение в рационе может влиять на канцерогенез. Kuriki и соавт. 2006() сообщили о том, что риск развития ОЗ ободочной и прямой кишки был напрямую связан не только с содержанием ПК в мембране эритроцитов, но и с соотношением насыщенных и полиненасыщенных ЖК. Напротив, Шеннон и соавт. (2007) сообщили о наличии прямой связи между ПК вместе пальмитолеиновой кислотой и риском развития ОЗ молочной железы. Однако, когда обе кислоты были проанализированы независимо друг от друга; наблюдалась обратная связь с риском развития ОЗ молочной железы. Это последнее открытие может быть связано с более низкой концентрацией пальмитолеиновой кислоты, которая производится из ПК δ -9-десатуразой. ПК, в свою очередь, является основным конечным продуктом реакции синтеза ЖК.

Хотя в настоящее время понятно, ПК и отношение ее к общему потреблению ЖК в большей степени отражают состояние липидного обмена по сравнению с общим содержанием Ж в пищевом рационе, очень мало известно о потенциальных механизмах, посредством которых эти насыщенные ЖК могут вызывать канцерогенез. На молекулярном уровне потребление ЖК может повлиять на развитие ОЗ путем модификации и/или изменениями: (1) гормонального статуса, (2) состава клеточной мембраны, (3) клеточной сигнализации. ОЖ, опосредованное приемом ЖК может стимулировать *de novo* синтез гормонов, таких как эстрогены, производство которых вызывает клеточную пролиферацию, тем самым определяя более высокий риск развития ОЗ (Escrich, 2011). Кроме того, потребление ЖК может повлиять на соотношение насыщенных и моновенасыщенных ЖК в фосфолипидном составе клеточной мембраны, изменяя, таким образом, множество ассоциированных с мембранами функций. Было обосновано, что потребление ЖК может иметь иммунодепрессивное действие и определить риск развития ОЗ путем изменения в мембранах клеток иммунной системы (Calder, 1999). Кроме того, белковый состав клеточной мембраны изменяется при потреблении ЖК с пищей, вследствие их влияния на межклеточные взаимодействия и реакции клетки на факторы роста (Ge, 2001). Нельзя также исключить возможные модификации мембранных белков в процессе пальмитоилирования и миристилирования, приводящего к изменениям функции и локализации ключевых белков при подавлении роста опухоли.

Исследования *in vitro* и *in vivo* показали, что специфические ЖК могут способствовать клеточной инвазии и метастазированию (Soto-Guzman, 2010; Matsuoka, 2010). Тем не менее, противоречивые результаты были получены при исследовании роли разных ЖК, в частности, в процессах клеточной пролиферации и апоптозе. В этом контексте, Харди и соавторы сообщили о противоположном эффекте влияния на пролиферацию клеток ОЗ молочной железы 2-х наиболее распространенных циркулирующих ЖК — ПК (насыщенная) и ОК (ненасыщенная). В частности, авторы сообщили, что ПК индуцирует апоптоз, а ОК способствует пролиферации клеток и предотвращает про апоптотический эффект, индуцированный ПК (Hardy, 2000). Действие обоих, насыщенной и ненасыщенной ЖК, опосредован PI3-K, однако потенциальный механизм остается не до конца изученным, а также проапоптотический механизм действия ПК.

Пальмовое масло и пальмовая кислота: роль в развитии ССЗ

ССЗ представляют собой основную причину смерти во всем мире. Основные биомаркеры ССЗ, содержащиеся в сыворотке или плазме крови — это общий ХС, холестерин липопротеинов низкой плотности (ХС-ЛПНП), холестерин липопротеинов высокой плотности (ХС-ЛПВП), ТАГ холестерин липопротеинов очень низкой плотности (ХС-ЛПОНП). Кроме того, это аполипопротеин А-I (АpoA-I) и В (АpoB), которые отражают вариации в ХС-ЛПВП и ХС-ЛПНП, соответственно (Kronenberg, 1999; Walldius, 2001). В частности, низкий уровень Аpo A-I и высокий уровень АpoB, связаны с повышенным риском ССЗ и соотношение АpoB/АpoA-I считается хорошим прогностическим показателем ССЗ (Walldius, 2004).

В 1950 г. Toshima и его группа показали, что повышенный уровень насыщенных ЖК в рационе питания являются важным предикторами ССЗ. Было установлено конкретное уравнение для прогнозирования уровня ХС в сыворотке, в зависимости от приема насыщенных ЖК (Keys, 1984; 1986; Kromhout, 1989; Menotti, 1989). Затем представители этой «липидной теории» заявили, что чрезмерное потребление насыщенных ЖК отвечает за гиперхолестеринемию, которая вызывает предрасположенность к более высокому риску ССЗ: увеличение на 20 мг/мл общего ХС в сыворотке крови повышает риск развития ССЗ на 12 % (Verschuren, 1995). В то же время, Mensink и соавторы (Mensink, 1992; 2003) показали, что наиболее благоприятный липидный профиль достигается при мононенасыщенных и полиненасыщенных ЖК вместо насыщенных.

В многоцентровом международном клиническом исследовании, проведенном в 1980–1997 годах, Chen и соавторами (Chen, 2011) оценивалось влияние потребления ПМ на риск смертности от ишемической болезни сердца (ИБС) и инсульта. В этом исследовании анализировались 23 страны, которые были разделены на развивающиеся страны и страны с высоким уровнем доходов. Было установлено, что каждые дополнительные кг ПМ, потребляемые на душу населения, ежегодно определяют более высокий уровень смертности ИБС в развивающихся странах по отношению к развитым. Такая же тенденция отмечена и в смертности от инсульта, но в этом случае данные не были статистически значимыми, т.к. уровень ХС-ЛПНП в крови напрямую не связан с артериальной гипертензией.

Тем не менее, в настоящее время становится ясно, что как благоприятные, так и неблагоприятные изменения биомаркеров ССЗ наблюдаются тогда, когда рацион состоит в основном из насыщенных ЖК ПМ (Fattore, 2013; 2014). В исследованиях, где ПМ сравнивали с соевым М (Fattore, 2013; Utarwuthipong, 2009), оливковым М (Fattore, 2013; Truswell, 2000), подсолнечным М (Fattore, 2013; Truswell, 2000) и рапсовым М (Fattore, 2013; Vega-López, 2006), не наблюдалось существенных различий в профиле липидов в сыворотке крови. Кроме того, в других исследованиях у здоровых людей не было обнаружено существенных изменений в липидном профиле и связи между добавлением в пищу ПМ и риском ССЗ, особенно когда они потребляли рекомендуемое количество полиненасыщенных ЖК (Clandinin, 1999; Clandinin, 2000). Было установлено также, что потребление ПМ не оказывает заметного влияния на соотношение биомаркеров риска ССЗ АpoB/АpoA-I (Marzuki, 1991; Sundram, 1994; 1997).

Кроме того, хорошо известно, что число атомов углерода в цепи ЖК, степень насыщения и стереоспецифическое позиционирование в структурах ТАГ может сильно изменить поглощение ЖК, тем самым влияя на метаболизм и их роль в развитии ССЗ (Ong, 2002; Favé, 2004; Karupiah, 2007). На самом деле, биомаркеры (ХС, ХС-ЛПНП, ХС-ЛПВП и ХС-ЛПОНП) ухудшаются тогда, когда поступающие насыщенные ЖК характеризуются более короткими углеродными цепями, как у ЛАК (C12:0) и МК (C14:0). Эти ЖК способны повысить уровень всех фракций ХС (благоприятных и неблагоприятных) более значительно, чем ПК (C16:0), а та, в свою очередь, более значительно, чем СК (C18:0) (Kromhout, 1995; Clarke, 1997). Кроме того, атерогенность конкретного ТАГ связана со степенью насыщения ЖК в положении SN-2 (Renaud, 1995; Kritchevsky, 1998; 2000; 2002).

Сравнивая различные Ж животного происхождения и растительные М, процент ПК, находящейся в положении SN-2 составлял 66 % в коровьем М, 58 % в грудном молоке, 34 % в коровьем молоке, на 4,4 % в ПМ и 0,3 % в оливковом М (Karupiah, 2007). На самом деле, как показано на рисунке 1, типичные ТАГ ПМ и ПК симметричны в позициях SN-1 и SN-3, а ОК в положении SN-2. Длинноцепочечные ТАГ ухудшают скорость всасывания из просвета кишечника, когда они занимают SN-1/SN-3 положения глицерина. Под влиянием липазы они преобразуются в свободные ЖК, которые имеют тенденцию к образованию нерастворимых мыл и выделяются с фе-

калиями (López-López, 2001), вместо того, чтобы быть преобразованы в соли желчных кислот (Favé, 2004). Эти данные говорят о том, что ПМ не связано с повышенным риском атерогенности ССЗ при соблюдении сбалансированной диеты (Ong, 2002).

В исследованиях на кроликах сравнивались атерогенные эффекты ПМ, ПЯМ и ПМ, в которое добавлялись каротиноиды, токотриенолы и токоферолы (Kritchevsky, 2002). Животные в течение 90 дней получали высокохолестериновую диету (1 % ХС) и 13 % испытуемых масел. Было установлено, что у группы животных, которая получала ПМ с добавлением каротиноидов, токотриенолов и токоферолов был повышен уровень ТАГ, а уровень общего ХС не различался между группами. Авторы предположили, что природные продукты не могут быть легко воспроизведены в результате обычного добавления и смешивания отдельных компонентов.

Пальмовое масло в детском питании

В раннем детском возрасте особенности питания оказывают значительное влияние на здоровье детей и предрасположенность к тем или иным заболеваниям у взрослых и могут рассматриваться как один из важнейших факторов, определяющих качество жизни человека. Однако большое количество младенцев первых недель и месяцев жизни по тем или иным причинам получают дополнительно к грудному молоку детские смеси или находятся на полном искусственном вскармливании (Mazzocchi, 2022). В большинстве детских молочных смесей в качестве источника белка используется молочный сывороточный белок и казеин, а в качестве источника углеводов — лактоза. В качестве источника Ж не используют коровье молоко, т.к. оно содержит в 3 раза меньше незаменимой ЛИК, чем грудное молоко, и значительно отличается по структуре ТАГ. Насыщенные Ж, входящие в состав Ж коровьего молока, могут повышать риск развития атеросклероза и сахарного диабета в последующие годы жизни ребенка. Это послужило причиной использования в молочных смесях растительных М (Byrne, 2021). Производители стараются приблизить количественный и качественный состав ЖК и их пропорции максимально близко к составу и пропорциям в грудном молоке и для этого используют смеси различных М. В 1970–80-е гг. в качестве источника ПК разработчики стали вводить ПМ, а точнее, его более жидкую фракцию — ПО, содержащий большое количество ПК (May, 2014). Отличительной

особенностью ПМ (ПО) является устойчивость к окислению, что обуславливает возможность более длительного хранения при сохранении его качества. ПМ представляет смесь ТАГ — эфиров глицерина и ЖК. По данным CODEX alimentarius в его составе также содержится небольшое количество ХС (2,3 мг на 100 г) (May, 2014). Отношение насыщенных и ненасыщенных ЖК в ПМ 1:1. Основной ЖК является ПК (38–43,5 % от общего количества ЖК), входящая в класс насыщенных ЖК.

Ингредиент ПМ (чаще в виде фракции ПО) на сегодняшний день является распространенной основой жирового состава детских смесей, составляя в общем жировом компоненте от 45 % и более. Оно входит в состав как традиционных молочных смесей, так и смесей на основе гидролизата молочного белка, смесей для недоношенных, смесей на основе изолята соевого белка и низколактозных смесей. Изначально ПО (который в России в составе и на этикетках именуется обычно просто ПМ) был введен в состав детских смесей (ДС) в последние два десятилетия XX века с целью повторить жирнокислотный состав Ж грудного молока, в котором содержится около 20–24 % ПК. Несмотря на кажущуюся схожесть ДС на основе ПО с грудным молоком по общему содержанию ПК, положение ПК в ТАГ цельного ПМ и ПО, с одной стороны, и ТАГ грудного молока, с другой, кардинально отличается. И это различие оказывает влияние на всасывание Ж и Ca^{2+} . Большая часть (70 %) ПК в грудном молоке находится в центральном β -положении, а ПК в ПМ находится преимущественно в крайних α -позициях (Padial-Jaudenes, 2020). При поступлении Ж грудного молока в кишечник панкреатическая липаза отщепляет ненасыщенных ЖК из боковых положений, оставляя нетронутой насыщенную ПК в центральном положении. В результате этого образуется 2-моноацилглицерид, который образует с солями желчных кислот смешанные мицеллы и хорошо всасывается. При потреблении смесей на основе ПМ ПК находится преимущественно в α -положениях и гидролизуетс липазой с высвобождением свободной ПК. Свободная длинноцепочечная ПК необратимо соединяется с Ca^{2+} (обильно представленным в ДС для обеспечения развития скелета ребенка). В результате образуются нерастворимые и не абсорбируемые комплексы кальция пальмитата ($\text{Ca}(\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COO})_2$). Эта соль представляет собой нерастворимое мыло. Оно не всасывается в кишечнике и теряется со стулом, делая его более плотным и уменьшая его частоту. Это приводит к снижению всасывания

Ca^{2+} и ЖК и сопровождается отставанием в минерализации растущего скелета (Mehrotra, 2019; Коо, 2006).

Таким образом, комбинация растительных М с преобладанием ПО лишь количественно повторяет Ж грудного молока, а качественно сильно отличается от последнего. Еще Европейское общество детской гастроэнтерологии, гепатологии и питания в своих широко известных рекомендациях (Koletzko, 2005) по составу базовых ДС от 2005 г. напоминает всем нам о важном принципе создания заменителей женского молока: «Состав грудного молока здоровых женщин при правильном питании может служить образцом для состава ДС, но общая схожесть состава не является ни адекватным мерилем, ни показателем безопасности и нутритивной адекватности детских смесей». Такой состав ЖК увеличивает риск развития атеросклероза и ограничивает использование ПМ у взрослых и детей старше 2 лет. Добавление в пищу младенцев ПМ имеет свои негативные последствия, главным образом, это снижение усвоения Ca^{2+} и Ж, отставание минерализации костей, а также диспептические симптомы: увеличение частоты колик, срыгивания, плотности стула и запоров.

Еще в 1918 г. появились первые медицинские публикации, связывающие распространенные расстройства пищеварения у младенцев, вскармливаемых коровьим молоком и слабо адаптированными смесями на основе коровьего молочного Ж (с высоким содержанием Ca^{2+}), с появлением в их стуле кальциевых мыл (Bosworth, 1918). Тогда же было предложено уменьшать содержание Ca^{2+} в смесях для профилактики омыления стула (Holt, 1918). Bosworth (1918) в статье, посвященной распространенным расстройствам желудочно-кишечного тракта у младенцев на искусственном вскармливании указывает, что широко признанным среди педиатров фактом является то, что переваривание и всасывание или невсасывание Ж — это, вероятно, причина большей части проблем, встречающихся у младенцев на искусственном вскармливании, которые получают коровье молоко в той или иной модификации. Исследования стула младенцев, для того чтобы выявить появление избытка мыл в стуле, стали обычной практикой во многих лечебных учреждениях в западных странах. Однако, в результате использования специальных «воссозданных» или «декальцифицированных» молочных смесей у младенцев на искусственном вскармливании большей экскреции Ca^{2+} со стулом, чем при грудном вскармливании не наблюдается. Bosworth (1918) полагает, что эти специальные смеси

делают возможным улучшить кормление по сравнению с обычными смесями на основе коровьего молока, потому что на последних дети страдают от сильной потери Ж за счет мыльного стула; а также в связи с тем, что такое кормление вызывает сильный запор, часто ведущий к общему расстройству.

Holt (1920; 1935) публикует ряд научных исследований, посвященных взаимодействию всасывания Ca^{2+} , Ж, и зависимости их абсорбции от длины углеводородной цепи конкретных ЖК. При изучении проблемы нарушения всасывания Ж и Ca^{2+} при потреблении различных комбинаций Ж животного и растительного происхождения было установлено, что 2-е длинноцепочечные насыщенные ЖК (ПК и СК) хуже всасываются в кишечнике, когда они находятся там в свободном состоянии. Кроме того, именно эти ЖК, находясь в кишечнике в свободном состоянии (с незанятой карбоксильной группой), обладали способностью крепко связывать Ca^{2+} , образуя нерастворимые кальциевые мыла (Holt, 1920; Holt Jr., 1935). Е.М. Widdowson и соавт. (1965), исследовали ДС с содержанием насыщенных ЖК (ПК и СК), более близким к грудному молоку, и обнаружили снижение всасывания Ca^{2+} и Ж. Кроме того Raven и Robinson (1960), которые изучали всасывание различных типов ПМ у телят установили связь повышенной потери Ж со стулом с повышенной потерей Ca^{2+} ($p=0,001$) и высказали мнение, что количественное содержание ЖК в растительных Ж имело меньшее значение для сниженной их абсорбции, чем их расположение в ТАГ (Raven, 1960). Для борьбы с нарушением всасывания Ж (и Ca^{2+}) из ДС с большой долей ПК в неблагоприятном боковом (α) положении начали создаваться синтетические (структурированные) ТАГ, в которых ПК располагалась в благоприятном центральном (β) положении. Такое структурированное М часто называется β -пальмитатом или SN_2 -пальмитатом (López-López, 2001; Bongers, 2007).

Первой запатентованной американской смесью, основанной на ПМ (именно на цельном ПМ, а не ПО), очевидно, была смесь компании «The Borden Company». До этого на рынке были распространены смеси, зачастую содержащие комбинацию растительных и животных Ж (таких как сливки и говяжий Ж, экспериментальное сало). В этой новой смеси были только растительные М с примерными пропорциями (без учета лецитина): цельное ПМ — 50 %, кокосовое М — 25 %, арахисовое М — 25 % (Fomon, 1975). «Первый β -пальмитат» (живот-

ного происхождения), был получен фармацевтической компанией «American Home Products» (которая с 2002 г. стала известна как «Wyeth») под названием «Детская смесь с жировым составом как в женском молоке». В тексте патента приводятся сравнения 2-х комбинаций пищевых Ж (в каждой из которых содержится 70 % сала) с грудным молоком по количественному составу ЖК и доле каждой в β -позиции в ТАГ. Согласно их данным, в грудном молоке 68 % ПК содержится в β -положении. По β -пальмитатным жировым комбинациям (с салом) эта доля составляет 59 и 71 %. Было обнаружено, что лучшая всасываемость Ж женского молока в значительной степени связана с высокой долей β -пальмитата, т.е. ПК во 2-й позиции в молекуле ТАГ. Считается, что положение ПК имеет значение, потому что в кишечном тракте панкреатическая липаза переваривает ТАГ с образованием 2-х свободных ЖК и β -моноглицерида. Т.е. липаза высвобождает именно ЖК в α -положении в молекуле ТАГ, оставляя в основном нетронутой ЖК в β -положении. Также длинноцепочечные насыщенные ЖК, т.е. ПК и СК, присутствующие в свободном виде после переваривания ТАГ, как известно, сравнительно плохо всасываются в отличие от ситуации, когда эти кислоты связаны в β -моноглицериде. Ж, имеющие ПК в β -положении, как было показано, всасываются отлично».

С 1987 г. Компания «Loders Croklaan» выпускает современный β -пальмитат (структурированное растительное М как ингредиент) под торговой маркой «Betapol». Патентуемым продуктом являются синтетические ТАГ с долей насыщенных ЖК в β -положении не менее 40 % и процедура их получения. После появления на рынке США в начале 1990-х гг. первой ДС на основе ПО самая знаменитая в США лаборатория по метаболическим исследованиям у грудных детей — лаборатория Сэмюэля-Фомона — провела прямое клиническое сравнение (Nelson, 1996) этой новой смеси на основе ПО с ДС без ПМ. Данное исследование проводилось под руководством Э. Зиглера — основателя балансовых исследований по нутритивным потребностям глубокого недоношенных младенцев, данные которых взяты за основу в рекомендациях Американской академии педиатрии 1985 г. Как и ожидалось из предыдущего опыта исследования абсорбции Ж и Ca^{2+} , на смеси с ПМ (и избытком α -пальмитата) абсорбция Ca^{2+} снижалась с 53,3 до 38,2 % ($p < 0,01$), и абсорбция Ж снижалась с 95,2 до 90,6 % ($p < 0,001$) (Nelson, 1996). После внесенных производителями изменений жирового состава коммерческих смесей через год данное исследование

было повторено (Nelson, 1998). Результаты оказались воспроизводимыми. При применении смеси на основе ПО абсорбция Ca^{2+} снижалась с 57,4 %, на смеси без ПМ — до 37,5 % ($p < 0,01$), и абсорбция Ж снижалась с 98,5 до 90,0 % соответственно ($p < 0,01$).

В одном очень крупном проспективном обсервационном исследовании (Alarcon, 2002), проводившемся в 17 странах мира и включившем 6999 детей, смесь на основе ПМ также ассоциировалась с увеличением плотности стула с 2,99 до 3,23 баллов ($p < 0,001$) и уменьшением его частоты с 2,22 до 1,44 раз в сутки ($p < 0,001$). Также на смеси без ПМ колики встречались на 62,5 % реже, и средняя частота срыгиваний уменьшалась с 0,69 до 0,56 ($p < 0,001$) по сравнению с другими смесями. Опубликовано не менее 3-х крупных хорошо спланированных клинических исследований (Alarcon, 2002; Specker, 1997; Kennedy, 1999; Carnielli, 1995), которые оценивали различия в минерализации костей в зависимости от присутствия в ДС ПМ. В других клинических исследованиях также подтверждены те или иные неблагоприятные эффекты избытка α -пальмитата в жировом составе ДС (Carnielli, 1995; 1996; Lucas, 1997; Bongers, 2007; Litmanovitz, 2011).

На основании систематического обзора опубликованных проспективных клинических исследований (Коо, 2003; Санникова, 2013; Верткин, 2013) делают вывод о том, что применение ПМ с целью добиться такого же содержания ПК в смеси, как в грудном молоке, имеет незапланированные последствия и его избегание в смеси или замена на синтетические ТАГ (β -пальмитат) может предотвратить вредное воздействие. Поэтому, заменители грудного молока должны достигать оптимального физиологического эффекта, а не просто поверхностно копировать нутриентный состав грудного молока.

Влияние пальмового масла на здоровье

В Институте биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси было проведено исследование, целью которого было оценить, как присутствие ПМ и рапсового М в диете влияет на абсорбцию и накопление в печени основных насыщенных и ненасыщенных ЖК, а также на уровень транс-ЖК (Кирко, 2017). Экспериментальные животные (крысы) были разделены, на те которые получали ПМ и рапсовое М в объеме 5 % от общего жирового содержимого диеты (30 % от суточного рациона). Самки еще одной группы получали уве-

личенную дозу ПМ (10% от жирового рациона). Сравнительная оценка уровня ХС в плазме крови показала достоверное его увеличение в группе с большим содержанием ПМ. Уровень ТАГ был достоверно повышен у животных всех опытных групп. При потреблении ПМ уменьшалось содержание транс-ЖК по сравнению с таковым в группе контроля и в группе животных, в рационе которых было рапсовое М. В то же время снижение уровня незаменимой α -линоленовой кислоты являлось негативным эффектом. Авторы исследования делают вывод о том, что ПМ использовать в ПП для замещения частично гидрированных Ж, одновременно восполняя жировой компонент рациона незаменимыми ЖК (Кирко, 2017). Бибик (2015) в обзоре установил, что добавление в пищевую рацион крыс ПМ в дозе 30 г/кг ежедневно на протяжении 6 недель негативно сказывается на липидном обмене и приводит к избытку массы тела животных всех возрастных групп, свойственному алиментарному ОЖ 2–3 степени. Согласно результатам Амелюшкина (2013) было установлено пальмитиновый вариант метаболизма субстратов энергии, обусловленный, наличием пальмитиновых ТАГ, с которыми биохимические и физико-химические реакции протекают афизиологично медленно, является не оптимальным для человека, что может стать причиной резистентности к И.

В обзоре научных исследований Медведева (2016) сделан вывод о том, что ПМ представляет собой полезное и питательное пищевое М и не представляет никакой опасности для человеческого здоровья. Однако, в обзоре Янковской (2016) о влиянии ПМ на риск развития ССЗ была подчеркнута необходимость проведения клинических исследований в белорусской популяции, а также важность разработки методов коррекции факторов риска при его употреблении в связи с тем, что данные по влиянию ПМ на развитие ССЗ достаточно противоречивы, на фоне его неуклонно возрастающего потребления в мире, и в Республике Беларусь, в частности.

Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов оценило риски для здоровья населения связанные с глицидиловыми эфирами жирных кислот (ГЭЖК), а также 3-монохлорпропандиолом (3-МХПД) и 2-монохлорпропандиолом (2-МХПД) (EFSA, 2016). Эти вещества образуются при переработке пищевых продуктов, в частности при рафинировании растительных М при высоких температурах (около 200 °C). Самые высокие уровни ГЭЖК, а также 3-МХПД и 2-МХПД (включая

сложные эфиры) были обнаружены в ПМ и пальмовом Ж, за которыми следуют другие М и Ж. ГЭЖК — генотоксичны и канцерогенны. Группа экспертов пришла к выводу, что ГЭЖК и 3-МХПД и 2-МХПД представляет собой потенциальную угрозу здоровью для всех младших возрастных групп со средним уровнем содержания в продуктах, а также для потребителей с высоким уровнем содержания в пищевых продуктах во всех возрастных группах (Alexander, 2016).

ПМ используется в детских смесях для воссоздания профиля ЖК грудного молока и достижения аналогичного уровня ПК (Radial-Jaudenes, 2020). Однако положение ЖК в ТАГ различается между ПО и профилем ЖК грудного молока, что влияет на всасывание Ж и приводит к непредвиденным физиологическим последствиям. Клинические данные говорят о том, что ПО в детских смесях приводит к более низкому всасыванию Ж, пальмитата и Ca^{2+} , а также к меньшей минерализации костей; мягкому стулу и увеличению веса детей по сравнению со смесями без ПО. Следовательно, представляется целесообразным проявлять осмотрительность и осторожность при добавлении ПМ (олеина) в смеси для детского питания.

Научные данные свидетельствуют о том, что фактор риска ССЗ и повышение осведомленности потребителей о здоровом питании увеличивает требования к ПМ (Urigo, 2021; Степычева, 2018). Кроме того, для здорового питания потребители должны избегать трансизомеров ЖК, а также твердых и полутвердых М.

В настоящее время число исследований, в которых исследуются детерминанты, влияющие на принятие потребителями пищевых продуктов с ПМ или без него, растет, в то время как исследований, обобщающих эти данные и фокусирующихся на потенциальном компромиссе между этими двумя вариантами, а именно на продуктах, содержащих экологически чистые продукты, не так много (Savarese, 2022). Переменные, которые влияют на потребление ПМ, имеют психологическую природу и связаны с заботой о здоровье и окружающей среде, а также с уровнем знаний. В частности, знание конкретного пищевого продукта, по-видимому, является ключом к изменению поведения и приводит к позитивному рассмотрению ингредиентов, из которых он состоит, а также повышает приемлемость ПМ, если оно присутствует среди ингредиентов.

В техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 024/2011 на масложировую продукцию четко указано, какие существуют требования безопасности к заменителям молочного Ж, к которым также относятся и ПМ. С предложением о введении уголовной ответственности для компаний, которые используют заменители (в том числе ПМ) при производстве продуктов питания, 28 июня выступил председатель Госдумы Вячеслав Володин в ходе пленарного заседания¹. Его слова приведены на официальном сайте нижней палаты. Он объясняет такую инициативу тем, что такие добавки стоят дешево и приносят больше прибыли бизнесу, но при этом они наносят вред здоровью потребителя. В связи с этим следует в срочном порядке подготовить изменения в законодательство.

Литвяк (2016, 2018) выдвинул гипотезу, согласно которой любое живое тело (организм) — совокупность белков-ферментов, гормонов и других биологически активных веществ (воды, Ж, углеводов, витаминов и т.д.) предназначено для максимально возможного ускорения корпускулярного синтеза в результате обменных процессов (биотрансмутации химических элементов в активных центрах ферментов и гормонов). Причем все разнообразие химических реакций можно рассматривать как средство для классификации (разделения) различных типов электронов и протонов, а также для доставки их к месту трансмутации (активному центру белка-фермента или гормона).

В живых организмах существует много биологически активных веществ, главной целью которых является, прежде всего, линейная или циклическая транспортировка по системе химической связи к месту проведения трансмутации (активному центру белка-фермента или гормона или определенным участкам нуклеиновых кислот) различных типов электронов и различных типов протонов, участвующих в трансмутации (Литвяк, 2016; 2018). К таким биологически активным веществам можно отнести, главным образом, ТАГ, ЖК (предельные и непредельные), витамины (водо- и жирорастворимые). Подобные биологически активные вещества имеют особое строение, позволяющее осуществлять функцию транспортировки. Структура данных веществ может представлять из себя либо длинную молекулу, либо в своем составе содержать один или несколько

циклов. В структурах транспортных биологически активных веществ наблюдается большое разнообразие функциональных группировок, которые могут иметь или одинаковый или разный частичный электрический заряд. Кроме того, химическая связь может быть либо одинарная либо чередующиеся одинарная и двойная с сопрежением (Литвяк, 2016; 2018). Рассмотрение «живых» организмов как объектов осуществляющих биотрансмутацию химических элементов позволит принципиально по новому понять биохимию, обменные процессы, терапевтические подходы к лечению различных заболеваний, диетологию, нутрициологию, качество и безопасность продуктов питания и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ исследований пальмового масла (ПМ) в контексте его применения в пищевой промышленности позволил зафиксировать, что несмотря на высокое качество пальмового ядрового масла (ПЯМ) и его положительные свойства, для пищевой промышленности актуальным является использование рафинированных форм ПМ светлого цвета что предполагает его обязательную обработку химическими или физическими методами для удаления примесей и достижения высокой очистки. Дезодорированное ПМ, отличающееся низким содержанием примесей и хорошей отбеливающей способностью, считается продуктом высокого качества, ценным в пищевой промышленности. ПМ представляет собой комплексный жир, состоящий на 50% из насыщенных жирных кислот (ПК, СК), на 40% — из мононенасыщенных жирных кислот (ОК), и на 10% — из полиненасыщенных жирных кислот (ЛИК). В 2022 году ПМ составил значительную долю, а именно 36%, от общего объема всех масел, производимых в мире. Это объясняется его привлекательными потребительскими характеристиками, такими как текстура, аромат и нейтральный вкус, что приводит к геометрическому росту применения рафинированного ПМ в пищевой промышленности.

Результаты последних клинических и экспериментальных исследований свидетельствуют о возможных рисках, связанных с потреблением ПМ, таких как развитие инсулинорезистентности, метаболических нарушений, включая ожирение, ишемической болезни сердца, инсульта и различных онкологических заболеваний. Несмотря на реко-

¹ Ковалева Анастасия (2023) Володин предложил ввести уголовную ответственность за использование пальмового масла в пище. *Ведомости*, 28 июня, 18:39. <https://www.vedomosti.ru/society/articles/2023/06/28/982807-ugolovnyuyu-otvetstvennost-za-palmovogo-masla>

мендации ограничить потребление ПМ в продуктах, следует отметить, что данные исследований, проведенных в различных странах, часто противоречивы. Это свидетельствует о необходимости учета этногенетических особенностей и национальных традиций питания при оценке влияния ПМ на здоровье человека. Кроме того, российские и зарубежные ученые, опираясь на результаты клинических исследований, делают вывод о негативном воздействии ПМ как жирового компонента на обмен кальция (Ca^{2+}) в кишечнике грудных детей. В связи с этим, целесообразно ограничить использование ПМ в качестве компонента заменителей грудного молока в детских смесях и рассмотреть альтернативные компоненты, включая смеси с β -пальмитатом или молочный жир.

Собранные данные в данном обзоре предоставляют научно обоснованный подход к возможному разнообразному использованию фракций ПМ в пищевой промышленности, включая применение пальмового олеина для жарки и при производстве разнообразных продуктов, а также рассмотрение пальмового стеарина как составной части кондитерских жиров и при производстве хлебобулочных изделий, конфет, тортов, сыра, чипсов, шоколада, печенья, крекеров, пончиков, замороженных блюд, лапши быстрого приготовления, попкорна, заправок для салатов, закусок и супов.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Шилов Валерий Викентьевич — формулирование исследовательских целей и задач; разработка и проектирование методологии исследования (создание модели исследования); сбор данных; отслеживание воспроизводимости результатов; подготовка и создание черновика рукописи (написание первоначального текста рукописи); подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, включая этапы до или после публикации рукописи; визуализация и представление данных; надзор и руководство за планированием и выполнением исследовательской деятельности; ответственность за управление и координацию планирования и осуществления научно-исследовательской деятельности.

Литвяк Владимир Владимирович — формулирование исследовательских целей и задач; разработка и проектирование методологии исследования (создание модели исследования); сбор данных; отслеживание воспроизводимости результатов; подготовка и создание черновика рукописи (написание первоначального текста рукописи); подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, включая этапы до или после публикации рукописи; визуализация и представление данных.

Росляков Юрий Федорович — сбор данных; подготовка и создание черновика рукописи (написание первоначального текста рукописи); подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, включая этапы до или после публикации рукописи; визуализация и представление данных.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Амелюшкина, В. А., Рожкова, Т. А., & Титов, В. Н. (2013). Пальмитиновый и олеиновый варианты метаболизма жирных кислот. Экзогенный синдром резистентности к инсулину при нарушении биологической функции питания. *Клиническая лабораторная диагностика*, 7, 21–28.
- Amelyushkin, V. A., Rozhkova, T. A., & Titov, V. N. (2013). Palmitic and oleic variants of fatty acid metabolism. Exogenous syndrome of insulin resistance in violation of the biological function of nutrition (trophology). *Clinical Laboratory Diagnostics*, 7, 21–28. (in Russ.)
- Бибик, Е. Ю., & Гайворовская, Ю. В. (2015). Влияние избыточного потребления пальмового масла на органомерические показатели тимуса в различные периоды онтогенеза. *Educatio*, 9(16), 48–52.
- Bibik, E. Yu., & Gayvorovskaya, Yu. V. (2015). Influence of excessive consumption of palm oil on the organometric parameters of the thymus in different periods of ontogeny. *Educatio*, 9(16), 48–52. (in Russ.)
- Верткин, А. Л., & Прохорович, Е. А. (2013). Пальмовое масло в составе заменителей грудного молока. Обзор клинических исследований. *Медицинский совет*, 8, 111–113. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2013-8-110-113>
- Vertkin, A. L., & Prokhorovich, E. A. (2013). Palm oil in breast milk substitutes. Review of clinical studies. *Medical Council*, 8, 111–113. (in Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2013-8-110-113>
- Кирко, С. Р., Гуринович, В. А., Лукиенко, Е. П., Мойсеенок, А. Г., & Буко, В. У. (2017). Сравнительная характеристика жирнокислотного состава печени крыс при включении в рацион рапсового и пальмового масел. Известия НАН Беларуси. *Серия медицинских наук*, 1, 29–37.

- Kirko, S. R., Gurinovich, V. A., Lukienko, E. P., Moiseenok, A. G., & Buko, V. U. (2017). Comparative characteristics of the fatty acid composition of rat liver when rapeseed and palm oils are included in the diet. *Izvestia of the National Academy of Sciences of Belarus. Series Medical Sciences*, 1, 29–37. (in Russ.)
- Литвяк, В. С., & Литвяк, В. В. (2015). *Строение материи: волновая и корпускулярная теории*. Минск: ИВЦ Минфина.
- Litvyak, V. S., & Litvyak, V. V. (2015). The structure of matter: Wave and corpuscular theories. Minsk: Information Computing Center of the Ministry of Finance. (in Russ.)
- Литвяк, В. С., & Литвяк, В. В. (2018). Волновое и корпускулярное строение материи-антиматерии: роль и значение пустоты в структуре (в 2-х ч.). Минск: ИВЦ Минфина.
- Litvyak, V. S., & Litvyak, V. V. (2018). Wave and corpuscular structure of matter-antimatter: the role and significance of emptiness in the structure (in 2 parts). Minsk: Information Computing Center of the Ministry of Finance. (in Russ.)
- Медведев, О. С., & Медведева, Н. А. (2016). Современные представления о возможном влиянии пальмового масла на здоровье человека. *Вопросы питания*, 85(1), 5–18.
- Medvedev, O. S., & Medvedeva, N. A. (2016). Modern ideas about the possible impact of palm oil on human health. *Food Issues*, 85(1), 5–18. (in Russ.)
- Санникова, Н. Е., Стенникова, О. В., Бородулина, Т. В., & Левчук, Л. В. (2013). Жировой компонент адаптированных детских молочных смесей: Современное состояние и история вопроса. *Русский медицинский журнал*, 2, 115.
- Sannikova, N. E., Stennikova, O. V., Borodulina, T. V., & Levchuk, L. V. (2013). The fat component of adapted infant milk formulas: current state and history of the issue. *Russian Medical Journal*, 2, 115. (in Russ.)
- Сокольский, И. (2015). Правда о пальмовом масле. *Наука и жизнь*, 4, 102–105.
- Sokolsky, I. (2015). The truth about palm oil. *Nauka and Life*, 4, 102–105. (in Russ.)
- Степычева, Н. В., Васина, Н. А., & Куликова, А. А. (2018). Оценка влияния пальмового масла на развитие атеросклероза и атероматоза. *Современные научные исследования и инновации*, (1).
- Stepycheva, N. V., Vasina, N. A., Kulikova, A. A. (2018). Evaluation of the influence of palm oil on the development of atherosclerosis and atheromatosis. *Modern Scientific Research and Innovation*, (1). (in Russ.)
- Янковская, Л. В., Кежун, Л. П., Слободская, Н. С., Белоус, Ю. И., Моргунова, Е. М. (2016). Влияние пальмового масла на риск развития сердечно-сосудистых заболеваний. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*, 4, 6–11.
- Yankovskaya, L. V., Kezhun, L. P., Slobodskaya, N. S., Belous, Yu. I., Morgunova, E. M. (2016). Influence of palm oil on the risk of developing cardiovascular diseases. *Journal of Grodno State Medical University*, 4, 6–11. (in Russ.)
- Ajuwon, K. M., & Spurlock, M. E. (2005). β activates the NF- κ B transcription factor and induces IL-6 and TNF- α expression in 3T3-L1 adipocytes. *Journal of Nutrition*, 135, 1841–1846. <https://doi.org/10.1093/jn/135.8.1841>
- Alarcon, P. A., Tressler, R. L., Mulvaney, A., Lam, W., & Comer, G. M. (2002). Gastrointestinal tolerance of a new infant milk formula in healthy babies: an international study conducted in 17 countries. *Nutrition*, 18(6), 484–489. [https://doi.org/10.1016/s0899-9007\(02\)00752-9](https://doi.org/10.1016/s0899-9007(02)00752-9)
- Alexander J., Barregard L., Bignami M., Ceccatelli S., Cottrill B., Dinovi M., Edler L., Grasl-Kraupp B., Hogstrand C., Hoogenboom L., Knutsen H. K., Nebbia C. S., Oswald I., Petersen A., Rogiers V. M., Rose M., Roudot A.-C., Schwerdtle T., Vleminckx C., Vollmer G., Wallace H. (2016). Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. *European Food Safety Authority*, 14(5), 4426. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4426>
- Aranceta, J., & Perez-Rodrigo, C. (2012). Recommended dietary reference intakes, nutritional goals and dietary guidelines for fat and fatty acids: A systematic review. *British Journal of Nutrition*, 107, 8–22. <https://doi.org/10.1017/S0007114512001444>
- Ariyama, H., Kono, N., Matsuda, S. T., & Inoue, H. (2010). Decrease in membrane phospholipid unsaturation induces unfolded protein response. *Journal of Biological Chemistry*, 285, 22027–22035. <https://doi.org/10.1074/jbc.M110.126870>
- Assmann, G., Buono, P., Daniele, A., Valle, E. D., Farinaro, E., Ferns, G., Krogh, V., Kromhout, D., Masana, L., Merino, J., Misciagna, G., Panico, S., Riccardi, G., Rivellese, A. A., Rozza, F., Salvatore, F., Salvatore, V., Stranges, S., Trevisan, M., Trimarco, B., & Vetrani, C. (2014). Functional foods and cardiometabolic diseases / International Task Force for Prevention of Cardiometabolic Diseases. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 24, 1272–1300. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2014.10.010>
- Barker, D. J. (2004). The developmental origins of adult disease. *Journal of the American College of Nutrition*, 23, 588–595. <https://doi.org/10.1080/07315724.2004.10719428>
- Berger, N. A. (2014) Obesity and cancer pathogenesis. *Annals New York Academy of Sciences*, 1311, 57–76. <https://doi.org/10.1111/nyas.12416>
- Bartsch, H., Nair, J., & Owen, R. W. (1999). Dietary polyunsaturated fatty acids and cancers of the breast and colorectum: Emerging evidence for their role as risk modifiers. *Carcinogenesis*, 20, 2209–2218. <https://doi.org/10.1093/carcin/20.12.2209>
- Bester, D., Esterhuysen, A., Truter, E. J., & van Rooyen, J. (2010). Cardiovascular effects of edible oils: A comparison between

- four popular edible oils. *Nutrition Research Reviews*, 23, 334–348. <https://doi.org/10.1017/S0954422410000223>
- Bongers, M. E., de Lorijn, F., Reitsma, J. B., Groeneweg, M., Taminiau, J. A. J. M., & Benninga, M. A. (2007). The clinical effect of a new infant formula in term infants with constipation: A double-blind, randomized cross-over trial. *Nutrition Journal*, 11, 6–8. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-6-8>
- Bradley, R. L., Fisher, F. F., & Maratos-Flier, E. (2008). Dietary fatty acids differentially regulate production of TNF- α and IL-10 by murine 3T3-L1 adipocytes. *Obesity*, 16, 938–944. <https://doi.org/10.1038/oby.2008.39>
- Bosworth, A. W., Bowditch, H. I., & Giblin, L. A. (1918). Studies of infant feeding. X: The digestion and absorption of fats. I. Calcium in its relation to the absorption of fatty acids. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 15(6), 397–407. <https://doi.org/10.1001/ARCHPEDI.1918.04110240026002>
- Brouwer, I. A., Katan, M. B., & Zock, P. L. (2004). Dietary α -linolenic acids associated with reduced risk of fatal coronary heart disease, but increased prostate cancer risk: A meta-analysis. *Nutrition Journal*, 134, 919–922. <https://doi.org/10.1093/jn/134.4.919>
- Byrne, M. E. O'Mahony, J. A., & O'Callaghan, T. F. (2021). Compositional and functional considerations for bovine-, caprine- and plant-based infant formulas. *Dairy*, 2(4), 695–715. <https://doi.org/10.3390/dairy2040054>
- Calder, P. C. (1999). Dietary fatty acids and the immune system. *Lipids*, 34, 137–140. <https://doi.org/10.1007/BF02562264>
- Cani, P. D., Amar, J., Iglesias, M. A., Poggi, M., Knauf, C., Bastelica, D., Neyrinck, A. M., Fava, F., Tuohy, K. M., Chabo, C., Waget, A., Delmée, E., Cousin, B., Sulpice, T., Chamontin, B., Ferrières, J., Tanti, J.-F., Gibson, G. R., Casteilla, L., Delzenne, N. M., Alessi, M. C., & Burcelin, R. (2007). Metabolic endotoxemia initiates obesity and insulin resistance. *Diabetes*, 56, 1761–1772. <https://doi.org/10.2337/db06-1491>
- Cani, P. D., Bibiloni, R., Knauf, C., Waget, A., Neyrinck, A. M., Delzenne, N. M., & Burcelin, R. (2008). Changes in gut microbiota control metabolic endotoxemia-induced inflammation in high-fat diet-induced obesity and diabetes in mice. *Diabetes*, 57, 1470–1481. <https://doi.org/10.2337/db07-1403>
- Carnielli, V. P., Luijendijk, I. H., Van Goudoever, J. B., Sulkers, E. J., Boerlage, A. A., Degenhart, H. J., & Sauer, P. J. (1995). Feeding premature newborn infants palmitic acid in amounts and stereoisomeric position similar to that of human milk: Effects on fat and mineral balance. *American Journal of Clinical Nutrition*, 61(5), 1037–1042. <https://doi.org/10.1093/ajcn/61.4.1037>
- Carnielli, V. P., Luijendijk, I. H., Van Goudoever, J. B., Sulkers, E. J., Boerlage, A. A., Degenhart, H. J., & Sauer, P. J. (1996). Structural position and amount of palmitic acid in infant formulas: Effects on fat, fatty acid, and mineral balance. *Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition*, 23(5), 553–560. <https://doi.org/10.1097/00005176-199612000-00007>
- Chen, B. K., Seligman, B., Farquhar, J. W., & Goldhaber-Fiebert, J. D. (2011). Multi-Country analysis of palm oil consumption and cardiovascular disease mortality for countries at different stages of economic development: 1980–1997. *Globalization and Health*, 7, 45–54. <https://doi.org/10.1186/1744-8603-7-45>
- Cheng, L., Yu Y., Szabo, A., Wu, Y., Wang, H., Camer, D., & Huang, X.-F. (2015). Palmitic acid induces central leptin resistance and impairs hepatic glucose and lipid metabolism in male mice. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 26, 541–548. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2014.12.011>
- Clandinin, M. T., Cook, S. L., Konrad, S. D., & French, M. A. (2000). The effect of palmitic acid on lipoprotein cholesterol levels. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 51, 61–S71.
- Clandinin, M. T., Cook, S. L., Konrad, S. D., Goh, Y. K., & French, M. A. (1999). The effect of palmitic acid on lipoprotein cholesterol levels and endogenous cholesterol synthesis in hyperlipidemic subjects. *Lipids*, 34, 121–124. <https://doi.org/10.1007/BF02562257>
- Clarke, R., Frost, C., Collins, R., Appleby, P., Peto, R. (1997). Dietary lipids and blood cholesterol: Quantitative meta-analysis of metabolic ward studies. *BMJ*, 314, 112–117. <https://doi.org/10.1136/bmj.314.7074.112>
- Crowe, F. L., Allen, N. E., Appleby, P. N., Overvad, K., Aardestrup, I. V., Johnsen, N. F., Tjønneland, A., Linseisen, J., Kaaks, R., Boeing, H., Kröger, J., Trichopoulou, A., Zavitsanou, A., Trichopoulos, D., Sacerdote, C., Palli, D., Tumino, R., Agnoli, C., Kiemeny, L. A., Bueno-de-Mesquita, H. B., Chirlaque, María-Dolores, Ardanaz, E., Larrañaga, N., Quirós, J. R., Sánchez, Maria-José, González, C. A., Stattin, P., Hallmans, G., Bingham, S., Khaw, Kay-Tee, Rinaldi, S., Slimani, N., Jenab, M., Riboli, E., & Key, T. J. (2008). Fatty acid composition of plasma phospholipids and risk of prostate cancer in a case-control analysis nested within the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition*, 88, 1353–1363. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.26369>
- Čmolík, J., Pokorný, J. (2000). Physical refining of edible oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102, 472–486. [https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200008\)102:7<472::AID-EJLT472>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/1438-9312(200008)102:7<472::AID-EJLT472>3.0.CO;2-Z)
- Daniele, A., Cammarata, R., Pasanisi, F., Finelli, C., Salvatori, G., Calcagno, G., Bracale, R., Labruna, G., Nardelli, C., Buono, P., Sacchetti, L., Contaldo, F., & Oriani, G. (2008). Molecular analysis of the adiponectin gene in severely obese patients

- from southern Italy. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 53, 155–161. <https://doi.org/10.1159/000172976>
- De Rosa, A., Monaco, M. L., Capasso, M., Forestieri, P., Pilone, V., Nardelli, C., Buono, P., & Daniele, A. (2013). Adiponectin oligomers as potential indicators of adipose tissue improvement in obese subjects. *European Journal of Endocrinology*, 169, 37–43. <https://doi.org/10.1530/EJE-12-1039>
- De Wit, N., Derrien, M., Bosch-Vermeulen, H., Oosterink, E., Keshtkar, S., Duval, C., Van den Bosch, J. V., Kleerebezem, M., Müller, M., & Van der Meer, R. (2012). Saturated fat stimulates obesity and hepatic steatosis and affects gut microbiota composition by an enhanced overflow of dietary fat to the distal intestine. *American Journal of Physiology. Gastrointestinal and Liver Physiology*, 303, 589–599. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00488.2011>
- Diakogiannaki, E., Welters, H. J., & Morgan, N. G. (2008). Differential regulation of the endoplasmic reticulum stress response in pancreatic beta-cells exposed to long-chain saturated and monounsaturated fatty acids. *Journal of Endocrinology*, 197, 553–563. <https://doi.org/10.1677/JOE-08-0041>
- Dixon, J. B. (2010). The effect of obesity on health outcomes. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 316, 104–108. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2009.07.008>
- Dunford, N. T. (2012). Advancements in oil and oilseed processing. In *Food and Industrial Bioproducts and Bioprocessing* (pp. 115–143). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119946083.ch4>
- Edem, D. O. (2002). Palm Oil: Biochemical, physiological, nutritional, hematological, and toxicological aspects: A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57, 319–341. <https://doi.org/10.1023/a:1021828132707>
- Escrich, E., Solanas, M., Moral, R., Costa, I., & Grau, L. (2006). Are the olive oil and other dietary lipids related to cancer? Experimental evidence. *Clinical and Translational Oncology*, 8, 868–883. <https://doi.org/10.1007/s12094-006-0150-5>
- Escrich, E., Solanas, M., Moral, R., & Escrich, R. (2011). Modulatory effects and molecular mechanisms of olive oil and other dietary lipids in breast cancer. *Current Pharmaceutical Design*, 17, 813–830. <https://doi.org/10.2174/138161211795428902>
- Exley, M.A., Hand, L., O'Shea, D., & Lynch, L. (2014). Interplay between the immune system and adipose tissue in obesity. *Journal of Endocrinology*, 223, 41–48. <https://doi.org/10.1530/JOE-13-0516>
- Fattore, E., Bosetti, C., Brighenti, F., Agostoni, C., & Fattore, G. (2014). Palm oil and blood lipid-related markers of cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis of dietary intervention trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, 99, 1331–1350. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.081190>
- Fattore, E., & Fanelli, R. (2013). Palm oil and palmitic acid: A review on cardiovascular effects and carcinogenicity. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64, 648–659. <https://doi.org/10.3109/09637486.2013.768213>
- Favé, G., Coste, T. C., & Armand, M. (2004). Physicochemical properties of lipids: New strategies to manage fatty acid bioavailability. *Molecular and Cellular Biology*, 50, 815–831.
- Fomon, S. J. (1975). What are infants fed in the United States? *Pediatrics*, 56, 3, 350–354.
- Forouhi, N. G., Koulman, A., Sharp, S. J., Imamura, F., Kröger, J., Schulze, M. B., Crowe, F. L., Huerta, J. M., Guevara, M., Beulens, J. W. J., Van Woudenberg, G. J., Wang, L., Summerhill, K., Griffin, J. L., Feskens, E. J. M., Amiano, P., Boeing, H., Clavel-Chapelon, F., Dartois, L., Fagherazzi, G., Franks, P. W., Gonzalez, C., Jakobsen, M. U., Kaaks, R., Key, T. J., Khaw, K. T., Kühn, T., Mattiello, A., Nilsson, P. M., Overvad, K., Pala, V., Palli, D., Quirós, J. R., Rolandsson, O., Roswall, N., Sacerdote, C., Sánchez, M. J., Slimani, N., Spijkerman, A. M. W., Tjonneland, A., Tormo, M. J., Tumino, R., Van der, A. D. L., Van der Schouw, Y. T., Langenberg, C., Riboli, E., & Wareham, N. J. (2014). Differences in the prospective association between individual plasma phospholipid saturated fatty acids and incident type 2 diabetes: The EPIC-InterAct case-cohort study. *Lancet Diabetes & Endocrinology*, 2, 810–818. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(14\)70146-9](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(14)70146-9)
- Franchi, L., Eigenbrod, T., Munoz-Planillo, R., & Nunez, G. (2009). The inflammasome: A caspase-1-activation platform that regulates immune responses and disease pathogenesis. *Nature Immunology*, 10, 241–247. <https://doi.org/10.1038/ni.1703>
- Gallagher, E. J., & LeRoith, D. (2015). Obesity and diabetes: the increased risk of cancer and cancer-related mortality. *Physiological Reviews*, 95, 727–748. <https://doi.org/10.1152/physrev.00030.2014>
- Gee, P. T. (2007). Analytical characteristics of crude and refined palm oil and fractions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109, 373–379. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600264>
- Ge, G., Wu, J., & Lin, Q. (2001). Effect of membrane fluidity on tyrosine kinase activity of reconstituted epidermal growth factor receptor. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 282, 511–514. <https://doi.org/10.1006/bbrc.2001.4600>
- Ghoshal, S., Witta, J., Zhong, J., De Villiers, W., & Eckhardt, E. (2009). Chylomicrons promote intestinal absorption of lipopolysaccharides. *Journal of Lipid Research*, 50, 90–97. <https://doi.org/10.1194/jlr.M800156-JLR200>
- Gunstone, F. D. (2011). Vegetable oils in food technology: Composition, properties and uses (2nd ed., pp. 25–153). Blackwell Publishing Ltd.

- Hardy, S., Langelier, Y., & Prentki, M. (2000). Oleate activates phosphatidylinositol 3-kinase and promotes proliferation and reduces apoptosis of MDA-MB-231 breast cancer cells, whereas palmitate has opposite effects. *Cancer Research*, 60, 6353–6358.
- Henson, I. E. (2012). A brief history of the palm oil. In *Palm oil: Production, processing, characterization and uses*. AOCS Press.
- Hodge, A. M., Williamson, E. J., Bassett, J. K., MacInnis, R. J., Giles, G. G., & English, D. R. (2015). Dietary and biomarker estimates of fatty acids and risk of colorectal cancer. *International Journal of Cancer*. <https://doi.org/10.1002/ijc.29479>
- Holt, E.L.L., Courtney, A.M., & Fales, H.L. (1920). Calcium metabolism of infants and young children and the relation of calcium to fat excretion in the stools. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 19(3), 201–222.
- Holt, E. L. L., Courtney, A. M., & Fales, H. L. (1918). Is the amount of calcium usually given in dilutions of cow's milk injurious to infants?: A reply to the article on «Calcium in its Relation to the Absorption of Fatty Acids», by Bosworth, Bowditch and Giblin. *American Journal of Diseases of Children; Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 16(1), 52–56.
- Holt, Jr. M. D. L. E., Tidwell, Ph. D. H. C., Kirk, M. D. C. M., Cross, D. M., & Neale, S. (1935). Studies in fat metabolism: I. Fat absorption in normal infants. *Journal of Pediatrics*, 6(4), 427–480. [https://doi.org/10.1016/S0022-3476\(35\)80034-6](https://doi.org/10.1016/S0022-3476(35)80034-6)
- Ishii, M., Maeda, A., Tani, S., & Akagawa, M. (2015). Palmitate induces insulin resistance in human HepG2 hepatocytes by enhancing ubiquitination and proteasomal degradation of key insulin signaling molecules. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 566, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2014.12.009>
- Jackson, M. D., Walker, S. P., Simpson-Smith, C. M., Lindsay, C. M., Smith, G., McFarlane-Anderson, N., Bennett, F. I., Coard, K. C. M., Aiken, W. D., Tulloch, T., Paul, T. J., & Wan, R. L. (2012). Associations of whole-blood fatty acids and dietary intakes with prostate cancer in Jamaica. *Cancer Causes & Control*, 23, 23–33. <https://doi.org/10.1007/s10552-011-9850-4>
- Jager, J., Gremeaux, T., Cormont, M., Marchand-Brustel, Y. L., & Tanti, J.-F. (2007). Interleukin-1 β -induced insulin resistance in adipocytes through down-regulation of insulin receptor substrate-1 expression. *Endocrinology*, 148, 241–251. <https://doi.org/10.1210/en.2006-0692>
- Jensen, R. G. (1996). The lipids in human milk. *Progress in Lipid Research*, 35, 53–92. [https://doi.org/10.1016/0163-7827\(95\)00010-0](https://doi.org/10.1016/0163-7827(95)00010-0)
- Jiao, P., Ma, J., Feng, B., Zhang, H., Diehl, J. A., Chin, Y. E., Yan, W., & Xu, H. (2011). FFA-induced adipocyte inflammation and insulin resistance: Involvement of ER stress and IKK β pathways. *Obesity*, 19, 483–491. <https://doi.org/10.1038/oby.2010.200>
- Karupaiah, T., & Sundram, K. (2007). Effects of stereospecific positioning of fatty acids in triacylglycerol structures in native and randomized fats: A review of their nutritional implications. *Nutrition & Metabolism*, 4, 16–32. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-4-16>
- Kennedy, K., Fewtrell, M. S., Morley, R., Abbott, R., Quinlan, P. T., Wells, J. C., Bindels, J. G., & Lucas, A. (1999). Double-blind, randomized trial of a synthetic triacylglycerol in formula-fed term infants: effects on stool biochemistry, stool characteristics, and bone mineralization. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70(5), 920–927. <https://doi.org/10.1093/ajcn/70.5.920>
- Keys, A., Menotti, A., Aravanis, C., Blackburn, H., Djordjevic, B. S., Buzina, R., Dontas, A. S., Fidanza, F., Karvonen, M. J., & Kimura, N. (1984). The seven countries study: 2289 deaths in 15 years. *Preventive Medicine*, 13, 141–154. [https://doi.org/10.1016/0091-7435\(84\)90047-1](https://doi.org/10.1016/0091-7435(84)90047-1)
- Keys, A., Menotti, A., Karvonen, M. J., Aravanis, C., Blackburn, H., Buzina, R., Djordjevic, B. S., Dontas, A. S., Fidanza, F., & Keys, M. H. (1986). The diet and 15-year death rate in the seven countries study. *American Journal of Epidemiology*, 124, 903–915. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a114480>
- Kharroubi, A. T., & Darwish, H. M. (2015). Diabetes mellitus: The epidemic of the century. *World Journal of Diabetes*, 6, 850–867. <https://doi.org/10.4239/wjd.v6.i6.850>
- Kochikuzhyil, B. M., Devi, K., & Fattepur, S. R. (2010). Effect of saturated fatty acid-rich dietary vegetable oils on lipid profile, antioxidant enzymes and glucose tolerance in diabetic rats. *Indian Journal of Pharmacology*, 42, 142–145. <https://doi.org/10.4103/0253-7613.66835>
- Koletzko, B., Baker, S., Cleghorn, G., Neto, U. F., Gopalan, S., Hernell, O., Hock, Q. S., Jirapinyo, P., Lonnerdal, B., Pencharz, P., Pzyrembel, H., Ramirez-Mayans, J., Shamir, R., Turck, D., Yamashiro, Y., & Zong-Yi, D. (2005). Global standard for the composition of infant formula: Recommendations of an ESPGHAN coordinated international expert group. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 41(5), 584–599. <https://doi.org/10.1097/01.mpg.0000187817.38836.42>
- Kolonel, L. N., Nomura, A. M., & Cooney, R. V. (1999). Dietary fat and prostate cancer: Current status. *Journal of the National Cancer Institute*, 91, 414–428. <https://doi.org/10.1093/jnci/91.5.414>
- Koo, W. W., Hammami, M., Margeson, D. P., Nwaesei, C., Montalto, M. B., & Lasekan, J. B. (2003). Reduced bone mineralization in infants fed palm olein-containing formula: A randomized, double-blinded, prospective trial. *Pediatrics*, 111(5), 1017–1023. <https://doi.org/10.1542/peds.111.5.1017>

- Koo, W. W. K., Hockman, E. M., & Dow, M. (2006). Palm olein in the fat blend of infant formulas: Effect on the intestinal absorption of calcium and fat, and bone mineralization. *Journal of the American College of Nutrition*, 2, 117–122. <https://doi.org/10.1080/07315724.2006.10719521>
- Kopelman, P. G. (2000). Obesity as a medical problem. *Nature*, 404, 635–643. <https://doi.org/10.1038/35007508>
- Kritchevsky, D., & Sundram K. (2002). Palm oil in human nutrition: Recent advances. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11(7), 393. <https://doi.org/10.1046/j.1440-6047.2001.00401.x>
- Kritchevsky, D., Tepper, S. A., Chen, S. C., Meijer, G. W., & Krauss, R. M. (2000). Cholesterol vehicle in experimental atherosclerosis. Effects of specific synthetic triglycerides. *Lipids*, 35, 621–625. <https://doi.org/10.1007/s11745-000-0565-3>
- Kritchevsky, D., Tepper, S. A., Czarnecki, S. K., & Sundram, K. (2002). Red palm oil in experimental atherosclerosis. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11, 433–437. <https://doi.org/10.1046/j.1440-6047.11.s.7.5.x>
- Kritchevsky, D., Tepper, S. A., & Kuksis, A. (1998). Cholesterol vehicle in experimental atherosclerosis. Native and randomized lard and tallow. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 9, 582–585.
- Kritchevsky, D., Tepper, S. A., & Wright, S. (1998). Cholesterol vehicle in experimental atherosclerosis. Cottonseed oil and randomized cottonseed oil. *Nutrition Reviews*, 18, 259–264.
- Kromhout, D., Keys, A., Aravanis, C., Buzina, R., Fidanza, F., Giampaoli, S., Jansen, A., Menotti, A., Nedeljkovic, S., & Pekkarinen M. (1989). Food consumption patterns in the 1960s in seven countries. *American Journal of Clinical Nutrition*, 49, 889–894. <https://doi.org/10.1093/ajcn/49.5.889>
- Kromhout, D., Menotti, A., Bloemberg, B., Aravanis, C., Blackburn, H., Buzina, R., Dontas, A. S., Fidanza, F., Giampaoli, S., & Jansen, A. (1995). Dietary saturated and trans fatty acids and cholesterol and 25-year mortality from coronary heart disease: The seven countries study. *Preventive Medicine*, 24, 308–315. <https://doi.org/10.1006/pmed.1995.1049>
- Kronenberg, F., Kronenberg, M. F., Kiechl, S., Trenkwalder, E., Santer, P., Oberhollenzer, F., Egger, G., Utermann, G., & Willeit, J. (1999). Role of lipoprotein(a) and apolipoprotein(a) phenotype in atherogenesis: Prospective results from the Bruneck study. *Circulation*, 100, 1154–1160. <https://doi.org/10.1161/01.cir.100.11.1154>
- Kurahashi, N., Inoue, M., Iwasaki, M., Sasazuki, S., & Tsugane, A. S. (2008). Dairy product, saturated fatty acid, and calcium intake and prostate cancer in a prospective cohort of Japanese men. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 17, 930–937. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-07-2681>
- Kuriki, K., Wakai, K., Hirose, K., Matsuo, K., Ito, H., Suzuki, T., Saito, T., Kanemitsu, Y., Hirai, T., Kato, T., Tatematsu, M., & Tajima, K. (2006). Risk of colorectal cancer is linked to erythrocyte compositions of fatty acids as biomarkers for dietary intakes of fish, fat, and fatty acids. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 15, 1791–1798. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-06-0180>
- Laugerette, F., Furet, J. P., Debar, C., Daira, P., Loizon, E., Gélöën, A., Soulage, C. O., Simonet, C., Lefils-Lacourtablaise, J., Bernoud-Hubac, N., Bodennec, J., Peretti, N., Vidal, H., & Michalski, M.-C. (2012). Oil composition of high-fat diet affects metabolic inflammation differently in connection with endotoxin receptors in mice. *American Journal of Physiology — Endocrinology and Metabolism*, 302, 374–386. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00314.2011>
- Laugerette, F., Vors, C., Geloën, A., Chauvin, M.-A., Soulage, C., Lambert-Porcheron, S., Peretti, N., Alligier, M., Burcelin, R., Laville, M., Vidal, H., & Michalski, M.-C. (2011). Emulsified lipids increase endotoxemia: Possible role in early postprandial low-grade inflammation. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 22, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2009.11.011>
- Ley, R. E., Bäckhed, F., Turnbaugh, P., Lozupone, C. A., Knight, R. D., & Gordon, J. I. (2005). Obesity alters gut microbial ecology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 11070–11075. <https://doi.org/10.1073/pnas.0504978102>
- Litmanovitz, I., Davidson, K., & Eliakim, A. (2011). The effects of infant formula beta-palmitate structural position on bone speed of sound, anthropometrics and infantile colic: A double-blind, randomized control trial. ESPGHAN Annual Meeting, May 25–28, 2011, Sorrento, Italy. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 52(1), 215.
- Lof, M., Sandin, S., Laggiou, P., Hilakivi-Clarke, L., Trichopoulos, D., Adami, H.-O., & Weiderpass, E. (2007). Dietary fat and breast cancer risk in the Swedish women's lifestyle and health cohort. *British Journal of Cancer*, 97, 1570–1576. <https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6604033>
- López-López, A., Castellote-Bargalló, A. I., Campoy-Folgoso, C., Rivero-Urgel, M., Tormo-Carnicé, R., Infante-Pina, D., & López-Sabater, M. C. (2001). The influence of dietary palmitic acid triacylglyceride position on the fatty acid, calcium and magnesium contents of at term newborn faeces. *Early Human Development*, 65, 83–94. [https://doi.org/10.1016/s0378-3782\(01\)00210-9](https://doi.org/10.1016/s0378-3782(01)00210-9)
- Lucas, A., Quinlan, P., Abrams, S., Ryan, S., Meah, S., & Lucas, P. J. (1997). Randomised controlled trial of a synthetic triglyceride milk formula for preterm infants. *Archives of Disease in Childhood — Fetal and Neonatal Edition*, 77(3), 178–84. <https://doi.org/10.1136/fn.77.3.f178>
- Magri, T. P., Fernandes, F. S., Souza, A. S., Langhi, L. G. P., Barboza, T., Misan, V., Mucci, D. B., Santos, R. M., Nunes, T. F.,

- Souza, S.A.L., Coelho, V.M., & Do Carmo, M.G.T. (2015). Interestified fat or palmoil as substitutes for partially hydrogenated fat in maternal diet can predispose obesity in adult male offspring. *Clinical Nutrition*, 24, 904–910. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2014.09.014>
- Marzuki, A., Arshad, F., Razak, T. A., & Jaarin, K. (1991). Influence of dietary fat on plasma lipid profiles of Malaysian adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition*, 53(4), 1010–1014. <https://doi.org/10.1093/ajcn/53.4.1010>
- Matsuoka, T., Adair, J. E., Lih, F. B., His, L. C., Rubino, M., Eling, T. E., Tomer, K. B., Yashiro, M., Hirakawa, K., Olden, K., & Roberts, J. D. (2010). Elevated dietary linoleic acid increases gastric carcinoma cell invasion and metastasis in mice. *British Journal of Cancer*, 103, 1182–1191. <https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6605881>
- May, C. Y., & Nesaretnam, K. (2014). Research advancements in palm oil nutrition. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116, 1301–1315. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400076>
- Mazzocchi, A., De Cosmi, V., & Milani, G. P. (2022). Agostoni health and sustainable nutritional choices from childhood: Dietary pattern and social models. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 78(2), 21–27. <https://doi.org/10.1159/000524860>
- Mba, O. I., Dumont, M. J., & Ngadi, M. (2015). Palm Oil: Processing, characterization and utilization in the food industry — A review. *Food Bioscience*, 10, 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.01.003>
- Mehrotra, V., Sehgal, S. K., & Bangale, N. R. (2019). Fat structure and composition in human milk and infant formulas: Implications in infant health. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 7(2), 153–159 <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2018.03.005>
- Menotti, A., Keys, A., Aravanis, C., Blackburn, H., Dontas, A., Fidanza, F., Karvonen, M. J., Kromhout, D., Nedeljkovic, S., & Nissinen, A. (1989). Seven countries study. First 20-year mortality data in 12 cohorts of six countries. *Annals of Medicine*, 21, 175–179. <https://doi.org/10.3109/07853898909149929>
- Mensink, R. P., & Katan, M. B. (1992). Effect of dietary fatty acids on serum lipids and lipoproteins. A meta-analysis of 27 trials. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 12, 911–919. <https://doi.org/10.1161/01.atv.12.8.911>
- Mensink, R. P., Zock, P. L., Kester, A. D., & Katan, M. B. (2003). Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: A meta-analysis of 60 controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, 77, 1146–1155. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.5.1146>
- Mordier, S., & Iynedjian, P. B. (2007). Activation of mammalian target of rapamycin complex 1 and insulin resistance induced by palmitate in hepatocytes. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 362, 206–211. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2007.08.004>
- Musa, C. V., Mancini, A., Alfieri, A., Labruna, G., Valerio, G., Franzese, A., Pasanisi, F., Licenziati, M. R., Sacchetti, L., & Buono, P. (2012). Four novel UCP3 gene variants associated with childhood obesity: Effect on fatty acid oxidation and on prevention of triglyceride storage. *International Journal of Obesity*, 36, 207–217. <https://doi.org/10.1038/ijo.2011.81>
- Musso, G., Gambino, R., & Cassader, M. (2011). Interactions between gut microbiota and host metabolism predisposing to obesity and diabetes. *Annual Review of Medicine*, 62, 361–380. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-012510-175505>
- Nelson, S. E., Frantz, J. A., & Ziegler, E. E. (1998). Absorption of fat and calcium by infants fed a milk-based formula containing palm olein. *Journal of the American College of Nutrition*, 17(4), 327–332. <https://doi.org/10.1080/07315724.1998.10718770>
- Nelson, S. E., Rogers, R. R., Frantz, J. A., & Ziegler, E. E. (1996). Palm olein in infant formula: absorption of fat and minerals by normal infants. *American Journal of Clinical Nutrition*, 64(3), 291–296. <https://doi.org/10.1093/ajcn/64.3.291>
- Obibuzor, J. U., Okogbenin, E. A., & Abigor, R. D. (2012). Oil recovery from palm fruits and palm kernel. In *Palm oil: Production, processing, characterization and uses* (pp. 299–328). AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-9818936-9-3.50014-9>
- Ong, A. S., & Goh, S. H. (2002). Palm oil: A healthful and cost-effective dietary component. *Food and Nutrition Bulletin*, 23, 11–22. <https://doi.org/10.1177/156482650202300102>
- Odia, O. J., Ofori, S., & Maduka, O. (2015). Palm oil and the heart: A review. *World Journal of Cardiology*, 26, 144–149. <https://doi.org/10.4330/wjc.v7.i3.144>
- Padial-Jaudenes, M., Castanys-Munoz, E., Ramirez, M., & Lasekan, J. (2020). Physiological impact of palm olein or palm oil in infant formulas: A review of clinical evidence. *Nutrients*, 12(12), 3676. <https://doi.org/10.3390/nu12123676>
- Raven, A. M., & Robinson, K. L. (1960). Studies of the nutrition of the young calf. *British Journal of Nutrition*, 14(2), 135–146.
- Renaud, S. C., Ruf, J. C., & Petithory, D. (1995). The positional distribution of fatty acids in palm oil and lard influences their biologic effects in rats. *Journal of Nutrition*, 125, 229–237. <https://doi.org/10.1093/jn/125.2.229>
- Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. *EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM)*. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4426>
- Rosqvist, F., Iggman, D., Kullberg, J., Cedernaes, J., Johansson, H.-E., Larsson, A., Johansson, L., Ahlström, H., Arner, P., Dahlman, I., & Risérus, U. (2014). Overfeeding polyunsaturated and

- saturated fat causes distinct effects on liver and visceral fat accumulation in humans. *Diabetes*, 63, 2356–2368. <https://doi.org/10.2337/db13–1622>
- Rossini, A., Zanobbio, L., Sfondrini, L., Cavalleri, A., Secreto, G., Morelli, D., Palazzo, M., Sommariva, M., Tagliabue, E., Rumio, C., & Balsari, A. (2013). Influence of fatty acid-free diet on mammary tumor development and growth rate in HER-2/Neu transgenic mice. *Journal of Cellular Physiology*, 228, 242–249. <https://doi.org/10.1002/jcp.24130>
- Saadatian-Elahi, M., Norat, T., Goudable, J., & Riboli, E. (2004). Biomarkers of dietary fatty acid intake and the risk of breast cancer: A meta-analysis. *International Journal of Cancer*, 111, 584–591. <https://doi.org/10.1002/ijc.20284>
- Sambanthamurthi, R., Sundram, K., & Tan, Y. A. (2000). Chemistry and biochemistry of palm oil. *Progress in Lipid Research*, 39, 507–558. [https://doi.org/10.1016/s0163–7827\(00\)00015–1](https://doi.org/10.1016/s0163–7827(00)00015–1)
- Savarese, M., Castellini, G., Paleologo, M., & Graffigna, G. (2022). Determinants of palm oil consumption in food products: A systematic review. *Journal of Functional Foods*, 96, 105207. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105207>
- Sczaniecka, A. K., Brasky, T. M., Lampe, J. W., Patterson, R. E., & White, E. (2012). Dietary intake of specific fatty acids and breast cancer risk among postmenopausal women in the VITAL cohort. *Nutrition and Cancer*, 64, 1131–1142. <https://doi.org/10.1080/01635581.2012.718033>
- Sen, C. K., Khanna, S., & Roy, S. (2007). Tocotrienols in health and disease: The other half of the natural vitamin E family. *Molecular Aspects of Medicine*, 28, 692–728. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2007.03.001>
- Shannon, J., King, I. B., Moshofsky, R., Lampe, J. W., Gao, D. L., Ray, R. M., & Thomas, D. B. (2007). Erythrocyte fatty acids and breast cancer risk: A case-control study in Shanghai, China. *American Journal of Clinical Nutrition*, 85, 1090–1097. <https://doi.org/10.1093/ajcn/85.4.1090>
- Shen, X. J., Zhou, J. D., Dong, J. Y., Ding, W. Q., & Wu, J. C. (2012). Dietary intake of n-3 fatty acids and colorectal cancer risk: A meta-analysis of data from 489,000 individuals. *British Journal of Nutrition*, 108, 1550–1556. <https://doi.org/10.1017/S0007114512003546>
- Sieri, S., Krogh, V., Ferrari, P., Berrino, F., Pala, V., Thiébaud, A. C. M., Tjønneland, A., Olsen, A., Overvad, K., Jakobsen, M. U., Clavel-Chapelon, F., Chajes, V., Boutron-Ruault, Marie-Christine, Kaaks, R., Linseisen, J., Boeing, H., Nöthlings, U., Trichopoulou, A., Naska, A., Lagiou, P., Panico, S., Palli, D., Vineis, P., Tumino, R., Lund, E., Kumle, M., Skeie, G., González, C. A., Ardanaz, E., Amiano, P., Tormo, M. J., Martínez-García, C., Quirós, J. R., Berglund, G., Gullberg, B., Hallmans, G., Lenner, P., Bueno-de-Mesquita, H. B., Van Duijnhoven, F. J. B., Peeters, P. H. M., Van Gils, C. H., Key, T. J., Crowe, F. L., Bingham, S., Khaw, K. T., Rinaldi, S., Slimani, N., Jenab, M., Norat, T., & Riboli, E. (2008). Dietary fat and breast cancer risk in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition*, 88, 1304–1312. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.26090>
- Silva, A. P., Guimaraes, D. E., Mizurini, D. M., Maia, I. C., Ortiz-Costa, S., Sardinha, F. L., & Do Carmo, M. G. T. (2006). Dietary fatty acids early in life affect lipid metabolism and adiposity in young rats. *Lipids*, 41, 535–541. <https://doi.org/10.1007/s11745–006–5002–0>
- Simon-Szabó, L., Kokas, M., Mandl, J., Kéri, G., & Csala, M. (2014). Metformin attenuates palmitate-induced endoplasmic reticulum stress, Serine Phosphorylation of IRS-1 and apoptosis in rat insulinoma cells. *PLoS ONE*, 9, 97868–97875. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097868>
- Soto-Guzman, A., Navarro-Tito, N., Castro-Sanchez, L., Martinez-Orozco, R., & Salazar, E. P. (2010). Oleic acid promotes MMP-9 secretion and invasion in breast cancer cells. *Clinical & Experimental Metastasis*, 27, 505–515. <https://doi.org/10.1007/s10585–010–9340–1>
- Souganidis, E., Laillou, A., Leyvraz, M., & Moench-Pfanner, R. (2013). A comparison of retinyl palmitate and red Palm Oil β -carotene as strategies to address Vitamin A deficiency. *Nutrients*, 15, 3257–3271. <https://doi.org/10.3390/nu5083257>
- Specker, B. L., Beck, A., Kalkwarf, H., & Ho, M. (1997). Randomized trial of varying mineral intake on total body bone mineral accretion during the first year of life. *Pediatrics*, 99(6), 12. <https://doi.org/10.1542/peds.99.6.e12>
- Stoll, L. L., Denning, G. M., Li, W. G., Rice, J. B., Harrelson, A. L., Romig, S. A., Gunnlaugsson, S. T., Miller, Jr. F. J., & Weintraub, N. L. (2004). Regulation of endotoxin-induced proinflammatory activation in human coronary artery cells: Expression of functional membrane-bound CD14 by human coronary artery smooth muscle cells. *Journal of Immunology*, 173, 1336–1343. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.173.2.1336>
- Storlien, L. H., Higgins, J. A., Thomas, T. C., Brown, M. A., Wang, H. Q., Huang, X. F., & Else, P. L. (2000). Diet composition and insulin action in animal models. *British Journal of Nutrition*, 83, 85–90. <https://doi.org/10.1017/S0007114500001008>
- Sundram, K., Hayes, K. C., & Siru, O. H. (1994). Dietary palmitic acid results in lower serum cholesterol than does a lauric-myristic acid combination in normolipemic humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59, 841–846. <https://doi.org/10.1093/ajcn/59.4.841>
- Sundram, K., Ismail, A., Hayes, K. C., Jeyamalar, R., & Pathmanathan, R. (1997). Trans (elaidic) fatty acids adversely affect the lipoprotein profile relative to specific saturated fatty acids in humans. *Journal of Nutrition*, 127, 514–520. <https://doi.org/10.1093/jn/127.3.514S>

- Sundram, K., Sambanthamurthi, R., & Tan, Y. A. (2003). Palm fruit chemistry and nutrition. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 12, 355–362.
- Theodoratou, E., McNeill, G., Cetnarskyj, R., Farrington, S. M., Tenesa, A., Barnettson, R., Porteous, M., Dunlop, M., & Campbell, H. (2007). Dietary fatty acids and colorectal cancer: A case-control study. *American Journal of Epidemiology*, 166, 181–195. <https://doi.org/10.1093/aje/kwm063>
- Thiebaut, A. C., Kipnis, V., Chang, S. C., Subar, A. F., Thompson, F. E., Rosenberg, P. S., Hollenbeck, A. R., Leitzmann, M., & Schatzkin, A. (2007). Dietary fat and postmenopausal invasive breast cancer in the national institutes of health-AARP diet and health study cohort. *Journal of the National Cancer Institute*, 99, 451–462. <https://doi.org/10.1093/jnci/djk094>
- Thompson, N. M., Norman, A. M., Donkin, S. S., Shankar, R. R., Vickers, M. H., Miles, J. L., & Breier, B. H. (2007). Prenatal and postnatal pathways to obesity: Different underlying mechanisms, different metabolic outcomes. *Endocrinology*, 148, 2345–2354. <https://doi.org/10.1210/en.2006-1641>
- Ting, J. P., Willingham, S. B., & Bergstralh, D. T. (2008). NLRs at the intersection of cell death and immunity. *Nature Reviews Immunology*, 8, 372–379. <https://doi.org/10.1038/nri2296>
- Truswell, A. S. (2000). Comparing palmolein with different predominantly monounsaturated oils: Effect on plasma lipids. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 51, 73–77.
- Urugo, M. M., Teka, T. A., Teshome, P. G., & Tringo, T. T. (2021). Palm oil processing and controversies over its health effect: Overview of positive and negative consequences. *Journal of Oleo Science*, 70(12), 1693–1706. <https://doi.org/10.5650/jos.ess21160>
- Utarwuthipong, T., Komindr, S., Pakpeankitvatana, V., Songchitsomboon, S., & Thongmuang, N. (2009). Small dense low-density lipoprotein concentration and oxidative susceptibility changes after consumption of soybean oil, rice bran oil, palm oil and mixed rice bran/palm oil in hypercholesterolaemic women. *Journal of International Medical Research*, 37, 96–104. <https://doi.org/10.1177/147323000903700111>
- Van Amelsvoort, J. M., Van der Beek, A., & Stam, J. J. (1986). Effects of the type of dietary fatty acid on the insulin receptor function in rat epididymal fat cells. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 30, 273–280. <https://doi.org/10.1159/000177204>
- Vega-López, S., Ausman, L. M., Jalbert, S. M., Erkkilä, A. T., & Lichtenstein, A. H. (2006). Palm and partially hydrogenated soybean oils adversely alter lipoprotein profiles compared with soybean and canola oils in moderately hyperlipidemic subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 84, 54–62. <https://doi.org/10.1093/ajcn/84.1.54>
- Verschuren, W. M., Jacobs, D. R., Bloemberg, B. P., Kromhout, D., Menotti, A., Aravanis, C., Blackburn, H., Buzina, R., Dontas, A. S., & Fidanza, F. (1995). Serum total cholesterol and long-term coronary heart disease mortality in different cultures. Twenty-five-year follow-up of the seven countries study. *Journal of the American Medical Association*, 274, 131–136.
- Walldius, G., & Jungner, I. (2004). Apolipoprotein B and apolipoprotein A-I: Risk indicators of coronary heart disease and targets for lipid-modifying therapy. *Journal of Internal Medicine*, 255, 188–205. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2796.2003.01276.x>
- Walldius, G., Jungner, I., Holme, I., Aastveit, A. H., Kolar, W., & Steiner, E. (2001). High apolipoprotein B, low apolipoprotein A-I, and improvement in the prediction of fatal myocardial infarction (AMORIS study): A prospective study. *Lancet*, 358, 2026–2033. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(01\)07098-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(01)07098-2)
- Wang, X., Cheng, M., Zhao, M., Ge, A., Guo, F., Zhang, M., Yang, Y., Liu, L., & Yang, N. (2013). Differential effects of high-fat diet rich in lard oil or soybean oil on osteopontin expression and inflammation of adipose tissue in diet-induced obese rats. *European Journal of Clinical Nutrition*, 52, 1181–1189. <https://doi.org/10.1007/s00394-012-0428-z>
- Wei, Y., Wang, D., Topczewski, F., & Passagliotti, M. J. (2006). Saturated fatty acids induce endoplasmic reticulum stress and apoptosis independently of ceramide in liver cells. *American Journal of Physiology — Endocrinology and Metabolism*, 291, 275–281. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00644.2005>
- Wen, H., Gris, D., Lei, Y., Jha, S., Zhang, L., Huang, M. T.-H., Brickey, W. J., & Ting, J. P.-Y. (2011). Fatty acid-induced NLRP3-ASC inflammasome activation interferes with insulin signaling. *Nature Immunology*, 12, 408–415. <https://doi.org/10.1038/ni.2022>
- Widdowson, E. M. (1965). Absorption and excretion of fat, nitrogen, and minerals from «filled» milks by babies one week old. *Lancet*, 2(7422), 1099–1105. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(65\)90065-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(65)90065-6)
- Wolk, A., Bergstrom, R., Hunter, D., Willett, W., Ljung, H., Holmberg, L., Bergkvist, L., Bruce, A., & Adami, H. O. (1998). A prospective study of association of monounsaturated fat and other types of fat with risk of breast cancer. *Archives of Internal Medicine*, 158, 41–45. <https://doi.org/10.1001/archinte.158.1.41>
- Yang, M., Wei, D., Mo, C., Zhang, J., Wang, X., Han, X., Wang, Z., & Xiao, H. (2013). Saturated fatty acid palmitate-induced insulin resistance is accompanied with myotube loss and the impaired expression of health benefit myokine genes in C2C12 myotubes. *Lipids in Health and Disease*, 12, 104–113. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-12-104>
- Zhang, K. (2010). Integration of ER stress, oxidative stress and the inflammatory response in health and disease. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 3(1), 33–40.

Аналитическая оценка системы подтверждения соответствия молока и молочной продукции обязательным законодательным требованиям

Л. В. Абдуллаева, С. А. Бедретдинова

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

АННОТАЦИЯ

Введение: Безопасность и качество молочной продукции, производимой и находящейся в обороте на территории ЕАЭС, обеспечивается соблюдением законодательства по техническому регулированию, санитарно-гигиенической и ветеринарно-санитарной безопасности. Одним из важных разделов технического регулирования являются правила по подтверждению соответствия продукции обязательным требованиям законодательства. Предметом настоящей статьи является систематизация аналитических данных по применяемым в Российской Федерации формам подтверждения соответствия молока и молочной продукции требованиям законодательства. На основе практического опыта применения различных форм и схем подтверждения соответствия и составления экспертных заключений по арбитражным ситуациям в обороте приведены наиболее значимые проблемные зоны в оценке и подтверждении соответствия сырого молока и готовой молочной продукции.

Цель: Цель данного кейса — анализ современной законодательной базы РФ в части подтверждения соответствия молока и молочной продукции требованиям нормативных правовых актов и систематизация полученных данных по применяемым формам подтверждения (оценки) соответствия продукции на территории РФ.

Материалы и методы: Данный кейс реализован посредством анализа нормативных правовых актов (далее — НПА) в области технического регулирования, обеспечения ветеринарно-санитарной, санитарно-гигиенической безопасности пищевой продукции и сырья. Документы были получены на официальных правовых порталах Правительства РФ, Евразийской Экономической Комиссии (далее — ЕЭК), Министерства сельского хозяйства РФ (МСХ РФ), Министерства промышленности и торговли РФ (Минпромторг РФ), Министерства здравоохранения РФ (Минздрав РФ). Кроме того, в качестве метода аналитического исследования применена систематизация результатов опроса служб технического регулирования и стандартизации предприятий молочной отрасли, а также практического опыта авторов статьи в подготовке экспертных заключений по арбитражным вопросам предмета исследований.

Результаты: На основе регламентированных в НПА требований к подтверждению (оценке) соответствия молочного сырья и готовой продукции, а также по обобщенным результатам опроса производителей продукции установлены наиболее часто применяемые производителями схемы подтверждения соответствия. С учётом проведенного анализа и систематизации материала по арбитражным вопросам в подтверждении (оценке) соответствия предложены рекомендации по оптимизации процесса подтверждения (оценки) соответствия молочного сырья и готовой продукции требованиям законодательства ЕАЭС и РФ, включая целесообразность его актуализации.

Выводы: По результатам исследования выявлен ряд проблем в области подтверждения (оценки) соответствия молока и молочной продукции требованиям НПА, с которыми сталкиваются в своей профессиональной деятельности производители и контролирующие органы, и предложены соответствующие решения данных проблем.

Ключевые слова: молоко; молочная продукция; техническое регулирование; нормативные правовые акты; требования законодательства; подтверждение соответствия

Корреспонденция:

Лариса Владимировна
Абдуллаева

E-mail: l_abdullaeva@vnimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 17.07.2023

Принята: 15.12.2023

Опубликована: 30.12.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Абдуллаева, Л.В., & Бедретдинова, С.А. (2023). Аналитическая оценка системы подтверждения соответствия молока и молочной продукции обязательным законодательным требованиям. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 85-98. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.31>

Analytical assessment of the system for confirming compliance of milk and dairy products with mandatory legal requirements

Larisa V. Abdullaeva, Sophia A. Bedretdinova

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: The safety and quality of dairy products produced and in circulation on the territory of the EAEU is ensured by compliance with legislation on technical regulation, sanitary, hygienic and veterinary safety. One of the important sections of technical regulation is the rules for confirming product compliance with mandatory legal requirements.

The subject of this article is the systematization of analytical data on used in the Russian Federation forms of confirming compliance of legal requirements about milk and dairy products. Based on the practical experience of using various forms and schemes for confirming compliance, as well as the practice of drawing up expert opinions on arbitration situations in trade turnover, the most significant problem areas in assessing and confirming compliance of raw milk and dairy products are presented.

Purpose: The purpose of this case study is analysis of the current legislative framework in the Russian Federation in the field of confirming compliance of milk and dairy products with the requirements of regulatory legal acts and systematization of the data obtained on the applicable forms assessing and confirming compliance of products in the Russian Federation.

Materials and Methods: As materials for this analytical case study were used regulatory legal acts (hereinafter - RLA) in the field of technical regulation, sanitary, hygienic and veterinary safety of food products and raw materials. The documents were obtained on the official legal portals of the Government of the Russian Federation, the Eurasian Economic Commission, the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation, the Ministry of Health of the Russian Federation. In addition, as a method of analytical research was used systematization of the survey results of technical regulation and standardization departments of dairy enterprises, as well as the article authors practical experience in expert opinions on arbitration issues of the research subject.

Results: Based on the regulated in RLA requirements for confirming (assessment) compliance of raw milk and dairy products, as well as based on the generalized results of a product manufacturers survey, have been established the conformity assessment schemes most often used by manufacturers. Considering the analysis and systematization of material on arbitration issues in confirming (assessment) compliance, recommendations are proposed for optimizing the process of confirming (assessment) compliance of raw milk and dairy products with the requirements of the legislation of the EAEU and the Russian Federation, including the feasibility of its updating.

Conclusion: According to the results of the research have been identified a number of problems in the field of confirming (assessment) of milk and dairy products compliance with the requirements of the RLA, which producers and regulatory authorities bodies in their professional activities, and appropriate solutions to these problems have been proposed.

Keywords: milk, dairy products, technical regulation, regulatory legal acts, confirming compliance

Correspondence:

Larisa V. Abdullaeva

E-mail: l_abdullaeva@vnimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 17.07.2023

Accepted: 15.12.2023

Published: 30.12.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Abdullaeva, L.V., & Bedretdinova, S.A. (2023). Analytical assessment of the system for confirming compliance of milk and dairy products with mandatory legal requirements. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 85-98. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.31>

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность развития рынка молока и молочной продукции зависит от многих факторов: экономическая ситуация в государстве, уровень господдержки, состояние животноводческой отрасли и молочной сырьевой базы, обеспеченность предприятий необходимым оборудованием, ингредиентами, технологическая и научно-методическая поддержка производителей, хорошо функционирующая система технического регулирования, стандартизации, контроля (надзора), развитая сеть логистики и торговли, грамотно построенная система маркетинга для выяснения предпочтений и замечаний потребителя.

Одной из важнейших составляющих данного процесса функционирования молочного рынка можно считать внедренную в РФ и Евразийском экономическом союзе (далее — ЕАЭС) систему технического регулирования при производстве и обороте молока и молочной продукции, основанную на лучшем мировом опыте производства и оборота пищевой продукции.

Основными элементами системы технического регулирования считаются стандартизация, обеспечение единства измерений, подтверждение (оценка) соответствия и государственный контроль (надзор). Благодаря их использованию обеспечивается реализация поставленных целей по устранению технических барьеров в торговле, защите рынка от небезопасной продукции, повышению качества и конкурентоспособности пищевой продукции. При упоминании о технических барьерах речь идёт о факторах, затрудняющих процессы импорта и экспорта продукции между странами, в том числе государствами, входящими в ЕАЭС.

Для установления единых обязательных требований к пищевой продукции и правилам ее оборота, в ЕАЭС приняты технические регламенты. К основополагающим документам в молочной отрасли относятся ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»¹ (далее ТР ТС 033/2013), ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»², ТР ТС 022/2011 «О пищевой продукции в части её маркировки»³, ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств»⁴, ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки»⁵. Правила подтверждения (оценки) соответствия молочного сырья и готовой молочной продукции обязательным требованиям технических регламентов установлены в ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 033/2013.

С целью минимизации необоснованных барьеров в свободном обороте продукции, исключения контрафакта и фальсификации, обеспечения «прозрачности» для всех участников рынка система подтверждения (оценки) соответствия пищевой продукции обязательным законодательным требованиям постоянно оптимизируется и развивается. Так, в 2023 г вступил в силу пакет изменений в системные документы оценки соответствия — единые формы сертификата соответствия и деклараций о соответствии требованиям технических регламентов и правилах их оформления, порядок формирования и ведения единого реестра выданных сертификатов соответствия и зарегистрированных деклараций о соответствии, а также порядок регистрации, приостановления, возобновления и прекращения действия деклараций о соответствии продукции требованиям технических регламентов ЕАЭС. Это позволило создать условия, обеспечивающие предотвращение возникновения избыточных обязанностей и запретов для субъектов предпринимательской деятельности,

¹ ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» (с изменениями на 15 июля 2022 года); принят Решением Совета ЕЭК от 9 октября 2013 года № 67 // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: [https://eec.eaeunion.org/\(дата обращения: 01.07.2023\)](https://eec.eaeunion.org/(дата обращения: 01.07.2023)).

² ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями на 25 ноября 2022 года); утверждён Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880 // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: [https://eec.eaeunion.org/\(дата обращения: 01.07.2023\)](https://eec.eaeunion.org/(дата обращения: 01.07.2023)).

³ ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части её маркировки» (с изменениями на 14 сентября 2018 года); утверждён Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 881 // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: [https://eec.eaeunion.org/\(дата обращения: 01.07.2023\)](https://eec.eaeunion.org/(дата обращения: 01.07.2023)).

⁴ ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (с изменениями на 18 сентября 2014 года); принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 года № 58 // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: [https://eec.eaeunion.org/\(дата обращения: 01.07.2023\)](https://eec.eaeunion.org/(дата обращения: 01.07.2023)).

⁵ ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» (с изменениями на 18 октября 2016 года); утверждён Решением Комиссии Таможенного союза от 16 августа 2011 года № 769 // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: [https://eec.eaeunion.org/\(дата обращения: 01.07.2023\)](https://eec.eaeunion.org/(дата обращения: 01.07.2023)).

а также снижение случаев фальсификации сертификатов и деклараций.

Евразийская экономическая комиссия (далее — ЕЭК) совместно с уполномоченными органами ведет работу по созданию единого реестра протоколов исследований (испытаний) и измерений, выданных при оценке соответствия продукции требованиям технических регламентов ЕАЭС. Планируется также в ближайшее время создать действенный механизм, обеспечивающий прослеживаемость процесса оценки соответствия в части выдаваемых документов. Это направлено на исключение из процессов оценки соответствия недобросовестных органов по подтверждению соответствия и испытательных лабораторий и создание равных конкурентных условий для промышленности ЕАЭС.

Цель данного кейса: изучение и систематизация существующих законодательных норм Российской Федерации, регламентирующих процесс подтверждения соответствия молока и молочных продуктов установленным стандартам и нормативным актам. Основная задача — агрегировать и классифицировать информацию о различных методах и формах, используемых для оценки соответствия этих продуктов на территории РФ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование законодательной базы

Анализ современной законодательной базы Российской Федерации проводился с учетом требований нормативных правовых актов, касающихся молока и молочной продукции. Изучались технические регламенты Евразийского экономического союза (ЕАЭС), в частности ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 033/2013, а также приказы и постановления, регулирующие вопросы подтверждения соответствия и ветеринарно-санитарной экспертизы.

Сбор и анализ данных

Данные собирались из официальных источников, включая сайты Роспотребнадзора, Росаккредитации и других уполномоченных органов. Производилось изучение и систематизация информации, касающейся форм подтверждения соответствия молочной продукции, с особым вниманием к особенностям применения различных форм в молочной отрасли.

Опросы и интервью

Для получения практической информации о применяемых схемах декларирования соответствия молочной продукции были проведены опросы среди представителей молочной отрасли. В исследование были включены 15 организаций, производящих молочную продукцию в РФ и Республике Беларусь. Опросы помогли собрать данные о наиболее часто используемых схемах декларирования и выявить факторы, влияющие на выбор конкретной схемы.

Анализ проблемных вопросов

Изучение и анализ были направлены на выявление возможных проблем и рисков, связанных с процессом декларирования соответствия молочной продукции. Анализ включал рассмотрение случаев нарушений и их последствий, а также потенциальных проблем, связанных с недостоверным декларированием.

Изучение актуализации законодательства

Проанализированы проекты изменений в законодательстве, направленные на оптимизацию процедур подтверждения соответствия в молочной отрасли. В рамках исследования изучались проекты нормативных правовых актов, в том числе Решения Евразийской экономической комиссии и Постановления Правительства РФ, которые предлагают изменения в текущие процедуры и стандарты в области молочной продукции.

Статистическая обработка: Полученные данные были статистически обработаны для представления результатов опроса и анализа законодательства. Использовались методы описательной статистики для систематизации и обобщения результатов, полученных в ходе исследования.

Этические соображения

Все процедуры, проводимые в рамках исследования, соответствовали этическим нормам и стандартам научной деятельности. Опросы и сбор данных проводились с соблюдением конфиденциальности и прав участников исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные формы оценки соответствия пищевой продукции

Согласно ст. 21 ТР ТС 021/2011 оценка (подтверждение) соответствия пищевой продукции требованиям технических регламентов проводится в формах:

- (1) подтверждения (декларирования) соответствия пищевой продукции;
- (2) государственной регистрации специализированной пищевой продукции;
- (3) государственной регистрации пищевой продукции нового вида;
- (4) ветеринарно-санитарной экспертизы.

В силу того, что молочная продукция непромышленного изготовления, предназначенная для собственных нужд изготовителей, не является объектом ТР ТС 033/2013, она не подлежит обязательному подтверждению соответствия с оформлением сопроводительного документа.

Специфика подтверждения соответствия молочной продукции

Специфика подтверждения соответствия молочной продукции регламентирована в ТР ТС 033/2013. Согласно ч. 99 ТР ТС 033/2013 обязательное подтверждение соответствия молока и молочной продукции требованиям данного регламента совпадает с аналогичными положениями ТР ТС 021/2011 и проводится в следующих формах:

- (а) декларирование соответствия;
- (б) государственная регистрация продуктов детского питания — в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011;
- (в) государственная регистрация молочной продукции нового вида — в соответствии с ТР ТС 021/2011;
- (г) ветеринарно-санитарная экспертиза сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок, поставляемых на предприятие для дальнейшей переработки.

Государственная регистрация продукции нового вида и специализированной продукции

В соответствии со статьями 24–29 ТР ТС 021/2011 государственную регистрацию продукции нового вида, специализированной пищевой продукции проводит уполномоченный орган (в РФ — это Роспотребнадзор). Из объектов ТР ТС 033/2013 к специализированной продукции относят продукцию, предназначенную для детского питания (раннего, дошкольного и школьного возраста). Если же молочная продукция позиционируется как лечебная, диетическая, для профилактического питания, для питания спортсменов, беременных и кормящих женщин, то она также подлежит государственной регистрации. Документом, подтверждающим государственную регистрацию продукции, является Свидетельство о государственной регистрации (далее — СГР). В ходе аналитического исследования не установлено каких-либо значимых проблемных вопросов и нарушений при использовании данной формы подтверждения соответствия молочной продукции.

Ветеринарно-санитарная экспертиза молочной продукции

Одной из форм подтверждения соответствия молочного сырья и молочной продукции является ветеринарно-санитарная экспертиза. Остановимся более подробно на особенностях применения данной формы.

В соответствии со статьей 30 ТР ТС 021/2011, молочная продукция непромышленного изготовления, предназначенная для реализации на розничных рынках, оценивается уполномоченным органом на соответствие законодательным требованиям в форме ветеринарно-санитарной экспертизы. В РФ уполномоченным органом на проведение ветеринарно-санитарной экспертизы является Государственная ветеринарная служба (далее — Госветслужба). Такая экспертиза проводится Госветслужбой на рынке в соответствии с Приказом МСХ РФ от 28.06.2021 г. № 421 «Об утверждении Ветеринарных правил назначения и проведения ветеринарно-санитарной экспертизы молока и молочных продуктов, предназначенных для переработки или для реализации на розничных рынках»¹ (в редакции При-

¹ Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 28.06.2021 № 421 «Об утверждении Ветеринарных правил назначения и проведения ветеринарно-санитарной экспертизы молока и молочных продуктов, предназначенных для переработки или для реализации на розничных рынках» // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 25.07.2023).

каза МСХ РФ от 24.05.2022 г № 305)¹ (далее — Приказ № 421).

В этом случае ветеринарный специалист, отвечающий за данный розничный рынок, должен принять обоснованное решение о допуске такой продукции к реализации. При этом, целесообразность проведения лабораторной экспертизы всех видов молочной продукции на данном рынке, её полноту и перечень показателей для анализа ветеринарный специалист устанавливает по своему усмотрению, основываясь на органолептических характеристиках продукта, на доступных сведениях об эпизоотическом благополучии района.

Учитывая различные субъективные факторы, в том числе, недостаточную лабораторную оснащённость отдельных территориальных ветеринарных центров, возможное отсутствие опыта ветеринарных специалистов в области контроля безопасности и идентификации молочной продукции, отсутствие у отдельных продавцов своей продукции необходимых навыков в соблюдении технологических и санитарно-гигиенических условий производства, можно предположить наличие высоких рисков допуска к реализации потребителю небезопасной продукции. На наш взгляд, такая схема оценки соответствия молочной продукции непромышленного производства, реализуемой на розничных рынках, весьма спорна и требует доработки.

К более совершенной и организованной форме в плане нормативно-правового регулирования можно отнести ветеринарно-санитарную экспертизу молочного сырья, направляемого на промышленную переработку. Документом, подтверждающим соответствие молочного сырья требованиям ЕАЭС и РФ, является ветеринарный сопроводительный документ (далее — ВСД), оформляемый на основании заключения о проведении ветеринарно-санитарной экспертизы. Проведение ветеринарно-санитарной экспертизы молочного сырья осуществляется также в соответствии с Приказом МСХ РФ № 421.

Процедура подтверждения соответствия молочного сырья

Кратко процедуру подтверждения молочного сырья обязательным требованиям ТР ТС 021/2011, ТР ТС 033/2013, а также национальным нормативным правовым актам в части эпизоотических, карантинных, ветеринарных мер можно представить в следующем виде. В соответствии с пунктами 7 и 8 Приказа № 421 ветеринарно-санитарная экспертиза сырого молока назначается и проводится уполномоченным инспектором Госветслужбы. После проведения экспертизы заключение и протоколы исследований молочного сырья размещаются инспектором в Государственной информационной системе в области ветеринарии (далее — ФГИС ВетИС). Территориальная ветеринарная служба, на чьей территории произведено сырое молоко, оформляет ВСД на это сырье на основании заключения о проведенной ветеринарно-санитарной экспертизе, размещенного в ФГИС ВетИС. Правила оформления ВСД также строго регламентированы в РФ и установлены Приказом МСХ РФ от 13.12.2022 № 862 «Об утверждении Ветеринарных правил организации работы по оформлению ветеринарных сопроводительных документов, Порядка оформления ветеринарных сопроводительных документов в электронной форме и на бумажных носителях»²

Молочный завод производит приемку сырого молока, сопровождаемого ВСД. При этом, наличие ВСД подтверждает поступление данного сырья на переработку из благополучного в эпизоотическом плане района, а также его ветеринарно-санитарную безопасность на основании последнего размещенного в ФГИС ВетИС заключения Госветслужбы о ветеринарно-санитарной экспертизе.

В рамках утвержденной программы производственного контроля (далее — ППК) молочный завод проверяет на приемке соответствие сырого молока требованиям ТР ТС 033/2013 и ТР ТС 021/2011 с установленной им пе-

¹ Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 24.05.2022 № 305 «О внесении изменений в Ветеринарные правила назначения и проведения ветеринарно-санитарной экспертизы молока и молочных продуктов, предназначенных для переработки или для реализации на розничных рынках, утвержденные приказом Минсельхоза России от 28 июня 2021 г. № 421» // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 25.07.2023).

² Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2022 № 862 «Об утверждении Ветеринарных правил организации работы по оформлению ветеринарных сопроводительных документов, Порядка оформления ветеринарных сопроводительных документов в электронной форме и Порядка оформления ветеринарных сопроводительных документов на бумажных носителях» // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 27.07.2023).

риодичностью. Протоколы испытаний сырого молока по всем требованиям указанных регламентов хранятся на заводе в установленном порядке и являются неотъемлемой частью доказательной базы при подтверждении соответствия молочной продукции требованиям законодательства и стандартов.

При этом, молочный завод, фактически, повторно проводит анализ сырого молока по основным показателям безопасности и идентификации, которые должна проверять и Госветслужба в рамках обязательной ветеринарно-санитарной экспертизы. Подобное дублирование контроля, по нашему мнению, не целесообразно и основано на несовершенстве нормативной правовой базы в этой сфере. Положениями ТР ТС 033/2013 и Приказа МСХ РФ № 421 регламентирована обязательная проверка сырого молока на одни и те же показатели безопасности и идентификации, включая микробиологические характеристики, и молочным заводом и Госветслужбой. Безусловно, такие показатели ветеринарно-санитарной безопасности молока, как наличие в нем остатков ветеринарных препаратов, должна проверить Госветслужба в рамках экспертизы. Это вполне логично, так как именно ветеринарная служба проводит лечение животных, владеет всеми необходимыми сведениями в части использованных препаратов, а значит и проведет оптимальный контроль по этому показателю, в отличие от завода, часто не имеющего полной информации для анализа. А все физико-химические и «технологические» параметры сырого молока, значимые для процесса производства различной молочной продукции (например, массовая доля белка и жира, активная и титруемая кислотность, микрофлора и т. д., влияющие на технологические аспекты производства различной продукции), конечно же, должны контролироваться и на стадии приемки на заводе и в рамках ветеринарно-санитарной экспертизы (как индикаторные характеристики состояния здоровья животного, условий его кормления и содержания).

Также в процессе анализа НПА и на основании экспертизы арбитражных вопросов в области подтверждения соответствия сырого молочного сырья обязательным требованиям установлен проблемный правовой вопрос: регламентировано ли участие молочного завода в осуществлении ветеринарно-санитарной экспертизы?

Исходя из систематизации положений выше упомянутого действующего законодательства выработан следующий вариант аргументации при составлении

ответа и рекомендаций для производителей по применению данной схемы подтверждения соответствия. Приказом № 421 не устанавливаются какие-либо обязательные требования по участию молочного завода в проведении Госветслужбой ветеринарно-санитарной экспертизы сырого молока. Госветинспектор обязан самостоятельно проводить отбор проб сырого молока, доставлять их в государственную лабораторию для анализа. В обязанности молочного завода также не входит контроль деятельности Госветслужбы по проведению лабораторных испытаний сырого молока, оформлению и размещению в ФГИС ВетИС протоколов испытаний в соответствии с пунктами 16 и 17 Приказа № 421. Таким образом, в ходе анализа установлено, что, на стадии ветеринарно-санитарной экспертизы законодательно не регламентировано, и на практике не осуществляется взаимодействие производителя сырого молока, молочного завода и Госветслужбы.

Выше описанные процедуры подтверждения и оценки соответствия в форме государственной регистрации и ветеринарно-санитарной экспертизы касаются молочного сырья, продукции непромышленного производства, а также специализированной и новой продукции. Основной же объем в отрасли занимает готовая молочная продукция общего употребления, произведенная промышленным способом. Она должна поступать в оборот на территории ЕАЭС с наиболее распространенным типом документа в пищевой отрасли — декларацией о соответствии продукта требованиям законодательства.

Декларирование соответствия молочной продукции

Остановимся на специфике широко применяемой формы обязательного подтверждения соответствия в молочной отрасли — декларировании. Под него попадают, практически, все виды молочной продукции: кисломолочные напитки, йогурты, сметана, творог и продукты на его основе, молочные консервы, мороженое, сыры, масло и т. д. Декларирование соответствия молочной продукции проводится в соответствии с требованиями статьи 23 ТР ТС 021/2011 и главы XIV ТР ТС 033/2013.

Законодательно установлено 6 схем декларирования, 5 из которых применимы для подтверждения соответствия молока и молочной продукции. Подробные сведения представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Схемы подтверждения соответствия молока и молочной продукции посредством декларирования

Схема	Элемент схемы			Применение	Документ, подтверждающий соответствие
	Исследования (испытания) и измерения	Оценка производства	Производственный контроль		
1д	Испытания продукции осуществляет изготовитель	—	Производственный контроль осуществляет изготовитель	Для продукции серийного производства при декларировании соответствия на основании собственных доказательств заявителя на регистрацию декларации о соответствии Заявитель на регистрацию декларации о соответствии — изготовитель (уполномоченное изготовителем лицо)	Декларация о соответствии на продукцию серийного производства
2д	Испытания продукции (единичного изделия) осуществляет изготовитель	—	—	Для партии продукции или единичного изделия при декларировании соответствия на основании собственных доказательств заявителя на регистрацию декларации о соответствии. Заявитель на регистрацию декларации о соответствии — изготовитель (уполномоченное изготовителем лицо), продавец (импортер)	Декларация о соответствии на партию продукции (единичное изделие)
3д	Испытания образцов (проб) продукции в аккредитованной испытательной лаборатории	—	Производственный контроль осуществляет изготовитель	Для продукции серийного производства при декларировании соответствия на основании доказательств, полученных с участием аккредитованной испытательной лаборатории, и собственных доказательств заявителя на регистрацию декларации о соответствии. Заявитель на регистрацию декларации о соответствии — изготовитель (уполномоченное изготовителем лицо)	Декларация о соответствии на продукцию серийного производства
4д	Испытания образцов (проб) продукции в аккредитованной испытательной лаборатории	—	—	Для партии продукции или единичного изделия при декларировании соответствия на основании доказательств, полученных с участием аккредитованной испытательной лаборатории, и собственных доказательств заявителя на регистрацию декларации о соответствии. Заявитель на регистрацию декларации о соответствии — изготовитель (уполномоченное изготовителем лицо), продавец (импортер)	Декларация о соответствии на партию продукции (единичное изделие)
6д	Испытания образцов (проб) продукции в аккредитованной испытательной лаборатории (центре)	Сертификация системы менеджмента качества	Производственный контроль осуществляет изготовитель	Для продукции серийного производства при наличии у изготовителя внедренной системы менеджмента качества, сертифицированной органом по сертификации систем менеджмента Заявитель на регистрацию декларации о соответствии — изготовитель (уполномоченное изготовителем лицо)	Декларация о соответствии на продукцию серийного производства

Анализируя представленные в таблице данные, можно заключить следующее. При декларировании по схеме 1д заявитель формирует комплект технической документации, а также проводит испытания образцов продукции в собственной лаборатории или, при желании, в аккредитованном испытательном центре (далее ИЦ), включенном в Единый реестр органов по сертификации и испытательных лабораторий ЕАЭС. Схема 2д схожа со схемой 1д, но применяется для декларирования отдельной партии продукции. Схема 3д, как и схема

1д, применима для серийно выпускаемой продукции, но испытания должны проводиться строго в аккредитованном ИЦ, включенном в Единый реестр. При выборе схемы 4д для декларирования партии продукции, заявитель предоставляет образцы продукции в ИЦ. Схема 6д применяется для декларирования молока и молочной продукции, выпускаемой серийно и изготавливаемой на предприятиях с внедренной системой менеджмента качества и безопасности, основанной на принципах ХАССП (в английской транскрипции HAC-

CP — Hazard Analysis and Critical Control Points — система анализа рисков и определение критических контрольных точек).

При этом, стоит отметить, что в соответствии с ч. 108 TP TC 033/2013, в случае, если заявитель является продавцом (не изготовителем), то схемами, применяемыми при декларировании соответствия, могут быть только 2д и 4д. Если в роли заявителя выступает зарегистрированные в соответствии с законодательством государства-члена на его территории юридическое лицо или физическое лицо в качестве ИП, являющиеся изготовителем или выполняющие функции иностранного изготовителя молочной продукции на основании договора с ним, то при декларировании допускается применять все схемы, установленные в ч. 106 TP TC 033/2013.

Для подтверждения соответствия молока и молочной продукции техническим регламентам изготовителю необходимо проанализировать особенности всех схем и выбрать наиболее подходящую, учитывая возможности производства и цели, которые ставит изготовитель. Далее последует подготовка комплекта технических документов и выбор ИЦ. При выборе ИЦ важно проверить наличие аттестата аккредитации на проведение испытаний данного вида продукции. Протоколы испытаний, полученные от ИЦ, будут являться доказательной базой, на основе которой регистрируется декларация.

Частью 107 TP TC 033/2013 регламентирован исчерпывающий перечень доказательственных материалов, на основании которых регистрируется декларация о соответствии. Подробный перечень документов, прилагаемых к декларации о соответствии, также регламентирует п.5 Решения Коллегии ЕЭК № 41 от 20.03.2018 «О Порядке регистрации, приостановления, возобновления и прекращения действия деклараций о соответствии продукции требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза» (с 6 мая 2023 г. документ действует в актуализированной редакции)¹ (далее — Решение ЕЭК № 41). В РФ также действует ре-

levantный нормативный правовой акт — Постановление Правительства РФ от 19 июня 2021 г. № 936 «О порядке регистрации, приостановления, возобновления и прекращения действия деклараций о соответствии, признания их недействительными и порядке приостановления, возобновления и прекращения действия сертификатов соответствия, признания их недействительными»². Для того, чтобы не нарушить требования законодательства ЕАЭС и РФ при формировании доказательственной базы целесообразно руководствоваться всеми выше перечисленными документами.

Единая форма декларации о соответствии продукции требованиям TP TC и правила её оформления утверждены Решением Коллегии ЕЭК от 25 декабря 2012 г. №293 «О единых формах сертификата соответствия и декларации о соответствии требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза и правилах их оформления»³ (далее — Решение ЕЭК №293). Решением ЕЭК № 293 также установлен перечень всей необходимой информации об изготовителе (заявителе) и продукции.

Сроки действия деклараций, зарегистрированных по разным схемам различны. Так, декларация, при регистрации которой использовались схемы 1д или 3д, действует не более трёх лет, срок действия деклараций, зарегистрированных по схемам 2д или 4д соответствует сроку годности молочной продукции в данной партии, для деклараций, зарегистрированных по схеме бд, срок действия составляет 5 лет. При этом декларация о соответствии действительна с даты её регистрации. Таким образом, сроки действия деклараций о соответствии составляют, как правило, до 5 лет. При этом, важно отметить, что согласно ч. 109 TP TC 033/2013 комплекты документов, которые послужили основанием для принятия декларации о соответствии, должны храниться заявителем не менее 10 лет со дня прекращения действия декларации — для серийно выпускаемой

¹ Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 20 марта 2018 г. № 41 «О Порядке регистрации, приостановления, возобновления и прекращения действия деклараций о соответствии продукции требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза» // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <https://docs.eaeunion.org/ru-ru> (дата обращения: 02.08.2023).

² Постановление Правительства Российской Федерации от 19.06.2021 № 936 «О порядке регистрации, приостановления, возобновления и прекращения действия деклараций о соответствии, признания их недействительными и порядке приостановления, возобновления и прекращения действия сертификатов соответствия, признания их недействительными» // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 05.08.2023).

³ Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 25 декабря 2012 г. № 293 «О единых формах сертификата соответствия и декларации о соответствии требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза и правилах их оформления» // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <https://docs.eaeunion.org/ru-ru> (дата обращения: 02.08.2023).

Л. В. Абдуллаева, С. А. Бедретдинова

продукции или не менее 5 лет со дня реализации последней единицы продукции — для партии.

Как показывает проведенный анализ, в обороте довольно часто встречаются ситуации, при которых требуется изменить в действующей декларации следующую информацию, не затрагивающую свойства продукта, а именно:

- (1) выявление в декларации опечаток;
- (2) изменение организационно-правовой формы, места нахождения, адреса места осуществления деятельности или юридического адреса, номера телефона или адреса электронной почты заявителя;
- (3) изменение кода ТН ВЭД ЕАЭС;
- (4) сокращение количества адресов мест осуществления деятельности по изготовлению продукции.

По результатам систематизации подобных вопросов от производителей было предложено в перечисленных выше случаях вновь оформить декларацию, но без приложения документов по пунктам «б-г» в ч. 5 Решения ЕЭК №41. То есть будет считаться достаточным приложить к регистрируемой декларации только заявление о её регистрации.

За все сведения, указанные в декларации, и за подлинность прилагаемых к декларации документов отвечает заявитель. В случае обнаружения неправильно оформленного документа Федеральная служба по аккредитации (далее — Росаккредитация) обязана направить обращение в уполномоченный надзорный орган (в РФ это Роспотребнадзор) о том, что продукция конкретного заявителя на данный момент реализуется с нарушениями.

Для систематизации информации по возможным последствиям для производителя молочной продукции при выявлении нарушений в оформлении декларации проанализирована нормативная правовая база, регламентирующая данный аспект, а также открытая информация с официальных сайтов Роспотребнадзора, Росаккредитации. Установлено, что одним из последствий нарушения для заявителя, указавшего недостоверные сведения в декларации, может послужить внеплановая проверка организации и изготавливаемой продукции. В случае, если нарушение будет зафиксировано, а вина заявителя доказана, то в судебном порядке заявитель будет привлечён к административной ответственности.

В Российской Федерации согласно разделу II. гл. 14. ст. 14.44 КоАП РФ в случае недостоверного декларирования соответствия продукции заявитель понесёт следующее наказание: наложение административного штрафа на должностных лиц в размере от 15 тыс. до 25 тыс. рублей, на юридических лиц — от 100 тыс. до 300 тыс. рублей. За недостоверное декларирование, повлекшее причинение вреда жизни или здоровью граждан, имуществу граждан, окружающей среде или животным и растениям либо создавшее угрозу причинения такого вреда, на должностных лиц налагается штраф в размере от 35 тыс. до 50 тыс. рублей, на юридических лиц — от 700 тыс. до 1 млн рублей.

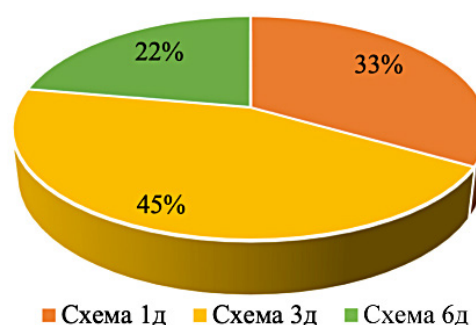
Результаты опроса по наиболее применимым схемам декларирования

В ходе работы над статьей было проведено опрос-исследование по наиболее применимым схемам декларирования среди производителей молока и молочной продукции РФ и РБ. В результате исследования была сформирована статистика на основе данных, полученных от 15 организаций. Результаты опроса производителей на предмет использования схем декларирования представлены на Рисунке 1.

На основании представленных данных можно сделать следующий вывод: чаще при декларировании соответствия продукции, относящейся к объектам регулирования ТР ТС 033/2013, производители используют схему

Рисунок 1

Статистика применения производителями различных схем декларирования



¹ Федеральный закон от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.2001 № 195-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 10.08.2023).

Зд. Схема декларирования 1д является наиболее экономически выгодной, и в некоторой степени рациональней с точки зрения отведённого на процесс декларирования времени, так как заявитель может провести исследования в своей собственной лаборатории и не заключать договор со сторонним аккредитованным ИЦ. Однако, как показывают аналитические данные, схема Зд является наиболее применяемой производителями.

Рекомендации по выбору схемы декларирования

Систематизация запросов молочных предприятий по целесообразности выбора той или иной схемы декларирования позволила установить причину, по которой в качестве оптимальной схемы выбирается Зд, а не 1д. Можно предположить, что одним из критериев, в соответствии с которым выбор падает чаще всего на схему Зд, является невозможность осуществления отдельных микробиологических анализов в производственной испытательной лаборатории (далее ИЛ). К таким «проблемным» микробиологическим показателям можно отнести, например, регламентированный законодательством контроль микроорганизмов III и IV групп патогенности по системе патогенных биологических агентов (далее ПБА).

Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №4 были утверждены Санитарные правила и нормы СанПиН 3.3686 – 21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней» (далее — СанПиН 3.3686–21)¹. В данном документе помимо основных требований к комплексу мероприятий выявлению инфекционных болезней, к порядку работы с ПБА, установлены также требования к оснащению лабораторий, осуществляющих работы с ПБА III и IV групп патогенности, к уровню квалификации персонала. Кроме того, дополнительные сложности организации микробиологического контро-

ля на молочном предприятии вызваны необходимостью соблюдения требований Постановления Правительства РФ от 25.01.2022 №46². Данным Постановлением было утверждено Положение, устанавливающее порядок лицензирования деятельности в области использования возбудителей инфекционных заболеваний человека и животных (за исключением случая, если указанная деятельность осуществляется в медицинских целях) и генно-инженерно-модифицированных организмов III и IV степеней потенциальной опасности, осуществляемой в замкнутых системах. Для лабораторий и ИЦ, проводящих испытания продукции на предмет некоторых показателей существуют строгие требования по оснащению, планировке и оборудованию ИЛ.

В условиях молочного предприятия не всегда представляется возможным и целесообразным выполнение этих требований к лабораториям. Производителям молочной продукции намного удобнее проводить испытания в соответствующем аккредитованном ИЦ. По этой причине при проведении экспертизы подобных вопросов от предприятий дается рекомендация производителям молока и молочной продукции использовать схему декларирования Зд.

Актуализация законодательства и предстоящие изменения

В рамках данного аналитического исследования также был проведён анализ актуализации законодательства в части подтверждения соответствия, изучены проекты нормативных правовых актов, направленных на оптимизацию данной сферы технического регулирования. Так, на основе Решения Совета ЕЭК от 18.04.2018 г. № 44 «О типовых схемах оценки соответствия»³ (далее — Решение ЕЭК № 44) в настоящее время разработан и обсуждается на площадке ЕЭК проект изменений в ТР ТС 021/2011. Данный проект подготовлен в целях приведения установленных форм, схем и процедур оценки соответствия продукции в соответствие с положения-

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 4 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 3.3686–21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней» // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 15.08.2023).

² Постановление Правительства Российской Федерации от 25.01.2022 № 46 «О лицензировании деятельности в области использования возбудителей инфекционных заболеваний человека и животных (за исключением случая, если указанная деятельность осуществляется в медицинских целях) и генно-инженерно-модифицированных организмов III и IV степеней потенциальной опасности, осуществляемой в замкнутых системах» // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 15.08.2023).

³ Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 18 апреля 2018 г. № 44 «О типовых схемах оценки соответствия» // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <https://docs.eaeunion.org/ru-ru> (дата обращения: 16.08.2023).

ми Решения ЕЭК № 44, а также с положениями Приложения № 9 к Договору о ЕАЭС от 29 мая 2014 года¹⁾ и в целях уточнения отдельных положений ТР ТС 021/2011 в части оценки соответствия по результатам практики применения данного регламента. Проектом корректируются термины и определения, касающиеся оценки соответствия продукции, а также единые детализированные процедуры оценки соответствия, касающиеся в том числе анализа доказательственных материалов, идентификации и отбора образцов продукции, оценки производства, выдачи, приостановления либо прекращения действия документов по оценке соответствия, их хранения, а также проведения периодической оценки сертифицированной продукции (инспекционного контроля). Данный проект изменений окажет положительное воздействие на условия ведения предпринимательской деятельности, в том числе органов по сертификации и ИЦ, так как будет способствовать созданию условий, обеспечивающих предотвращение возникновения избыточных обязанностей, ограничений и запретов для субъектов предпринимательской деятельности, барьеров для свободного движения товаров на территории ЕАЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа действующей нормативной правовой базы ЕАЭС и РФ, а также на основе систематизации практического опыта подготовки экспертных заключений по вопросам производителей и контролирующих организаций в части системы подтверждения соответствия молочного сырья и готовой продукции обязательным требованиям законодательства выявлен ряд проблем, по которым предлагаем следующие решения.

Считаем необходимым проведение на национальном уровне актуализации нормативно-правового регулирования оценки безопасности и идентификации молочной продукции непромышленного производства, реализуемой на розничных рынках. По мнению авторов, действующая в РФ система оценки соответствия данной продукции требованиям законодательства не совершенна и не обеспечивает гарантированного отсутствия риска поступления к потребителю небезопасной продукции.

В части функционирования системы ветеринарно-санитарной экспертизы сырого молока, направляемого на промышленное производство молочной продукции, с целью исключения дублирования обязанностей и полномочий, считаем необходимым регламентировать в нормативных правовых актах РФ вопросы разделения ответственности между Госветслужбой и молочным заводом. Госветслужбе целесообразно проводить государственный контроль сырого молока по ветеринарно-санитарным показателям безопасности, а молочному заводу необходимо на этапе приемки сырого молока проверить его физико-химические и микробиологические показатели. Данная схема обеспечит безопасность молочного сырья, позволит избежать дублирования контроля показателей безопасности на этапе приёмки сырья и снимет лишнюю нагрузку с молочного завода.

Для оптимизации процесса декларирования соответствия производителями молочной продукции, исключения арбитражных ситуаций при неоднозначной трактовке положений релевантных нормативных правовых актов ЕАЭС и РФ, дублирующих установление форм, схем и процедур оценки соответствия, понятия в области подтверждения соответствия и проведения испытаний, требования к испытательным центрам, представляется целесообразной разработка и принятие в ЕЭК проекта Изменений в ТР ТС 021/2011 в части регламентирования единых унифицированных подходов к выше указанным объектам технического регулирования.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Абдуллаева Лариса Владимировна: ыдвлоадлвао дылвоадылвоа дылвоадывлао дылвоадывлао дылвоадывлао

Бедретдинова Софья Андреевна: /вдаывдлао ды-влоадывлао щшукгодылвоа жыдвоадывлао щшг ыдлвоадывлао

¹⁾ Договор о Евразийском экономическом союзе (ред. от 24.03.2022) // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <https://docs.eaeunion.org/ru-ru> (дата обращения: 02.08.2023).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- ТР ТС 021/2011 *О безопасности пищевой продукции* (с изменениями на 25 ноября 2022 года); утверждён Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880. Официальный интернет-портал правовой информации. <https://eec.eaeunion.org>
Technical Regulation of the Customs Union TR CU 021/2011 *on Food Safety* (as amended on November 25, 2022); adopted by the Decision of the Customs Union Commission on December 9, 2011, No. 880. Official internet portal of legal information. <https://eec.eaeunion.org>
- ТР ТС 022/2011 *Пищевая продукция в части её маркировки* (с изменениями на 14 сентября 2018 года); утверждён Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 881. Официальный интернет-портал правовой информации. <https://eec.eaeunion.org/>
Technical Regulation of the Customs Union TR CU 022/2011 *on Food Products in Terms of Its Labeling* (as amended on September 14, 2018); adopted by the Decision of the Customs Union Commission on December 9, 2011, No. 881. Official internet portal of legal information. <https://eec.eaeunion.org/>
- ТР ТС 005/2011 *О безопасности упаковки* (с изменениями на 18 октября 2016 года); утверждён Решением Комиссии Таможенного союза от 16 августа 2011 года № 769. Официальный интернет-портал правовой информации. <https://eec.eaeunion.org>
Technical Regulation of the Customs Union TR CU 005/2011 *on the Safety of Packaging* (as amended on October 18, 2016); adopted by the Decision of the Customs Union Commission on August 16, 2011, No. 769. Official internet portal of legal information. <https://eec.eaeunion.org>
- ТР ТС 033/2013 *О безопасности молока и молочной продукции*; принят Решением Совета ЕЭК от 9 октября 2013 года № 67. Официальный интернет-портал правовой информации. <https://eec.eaeunion.org>
Technical Regulation of the Customs Union TR CU 033/2013 *on the Safety of Milk and Dairy Products*; adopted by the Decision of the Eurasian Economic Commission Council on October 9, 2013, No. 67. Official internet portal of legal information. <https://eec.eaeunion.org>
- ТР ТС 029/2012 *Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств* (с изменениями на 18 сентября 2014 года); принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 года № 58. Официальный интернет-портал правовой информации. <https://eec.eaeunion.org>
Technical Regulation of the Customs Union 029/2012 *Safety requirements for food additives, flavorings, and processing aids* (as amended on September 18, 2014); adopted by the Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission on July 20, 2012, No. 58. Official legal information portal. <https://eec.eaeunion.org>
- Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 20 марта 2018 г. № 41 «О Порядке регистрации, приостановления, возобновления и прекращения действия деклараций о соответствии продукции требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза». Официальный интернет-портал правовой информации. <https://docs.eaeunion.org/ru-ru>
Decision of the Board of the Eurasian Economic Commission dated March 20, 2018, No. 41 "On the Procedure for registration, suspension, resumption, and termination of declarations of conformity to the requirements of the technical regulations of the Eurasian Economic Union". Official legal information portal. <https://docs.eaeunion.org/ru-ru>
- Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 18 апреля 2018 г. № 44 «О типовых схемах оценки соответствия». Официальный интернет-портал правовой информации. <https://docs.eaeunion.org/ru-ru>
Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission dated April 18, 2018, No. 44 "On typical schemes of conformity assessment". Official legal information portal. <https://docs.eaeunion.org/ru-ru>
- Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 25 декабря 2012 г. № 293 «О единых формах сертификата соответствия и декларации о соответствии требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза и правилах их оформления». Официальный интернет-портал правовой информации. <https://docs.eaeunion.org/ru-ru>
Decision of the Board of the Eurasian Economic Commission dated December 25, 2012, No. 293 "On the unified forms of the certificate of conformity and declaration of conformity to the requirements of technical regulations of the Eurasian Economic Union and the rules for their completion". Official legal information portal. <https://docs.eaeunion.org/ru-ru>
- Федеральный закон от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.2001 № 195-ФЗ. Официальный интернет-портал правовой информации. <http://www.pravo.gov.ru>
Federal Law of December 30, 2001, N 195-FZ "Code of Administrative Offences of the Russian Federation" of 30.12.2001 No. 195-FZ. Official legal information portal. <http://www.pravo.gov.ru>

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 4 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 3.3686–21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней». Официальный интернет-портал правовой информации. <http://www.pravo.gov.ru>
Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of January 28, 2021, No. 4 "On the approval of sanitary rules and norms SanPiN 3.3686–21 "Sanitary and epidemiological requirements for the prevention of infectious diseases". Official legal information portal. <http://www.pravo.gov.ru>

Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 28.06.2021 № 421 «Об утверждении Ветеринарных правил назначения и проведения ветеринарно-санитарной экспертизы молока и молочных продуктов, предназначенных для переработки или для реализации на розничных рынках». Официальный интернет-портал правовой информации. <http://www.pravo.gov.ru>

Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated 28.06.2021 No. 421 "On Approval of Veterinary Rules for Designation and Conduct of Veterinary and Sanitary Examination of Milk and Dairy Products Intended for Processing or Retail Sale." Official Internet Portal of Legal Information. <http://www.pravo.gov.ru>

Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 24.05.2022 № 305 «О внесении изменений в Ветеринарные правила назначения и проведения ветеринарно-санитарной экспертизы молока и молочных продуктов, предназначенных для переработки или для реализации на розничных рынках, утвержденные приказом Минсельхоза России от 28 июня 2021 г. № 421». Официальный интернет-портал правовой информации. <http://www.pravo.gov.ru>

Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated 24.05.2022 No. 305 "On Making Amendments to the Veterinary Rules for Designation and Conduct of Veterinary and Sanitary Examination of Milk and Dairy Products Intended for Processing or Retail Sale, Approved by the Order of the Ministry of Agriculture of Russia No. 421 dated June 28, 2021." Official Internet Portal of Legal Information. <http://www.pravo.gov.ru>

Постановление Правительства Российской Федерации от 19.06.2021 № 936 «О порядке регистрации, приостановления, возобновления и прекращения действия деклараций о соответствии, признания их недействительными и порядке приостановления, возобновления и прекращения действия сертификатов соответствия, признания их недействительными». Официальный интернет-портал правовой информации. <http://www.pravo.gov.ru>

Resolution of the Government of the Russian Federation dated 19.06.2021 No. 936 "On the Procedure for Registration, Suspension, Resumption, and Termination of Declarations of Conformity, Recognition of Their Invalidity and the Procedure for Suspension, Resumption, and Termination of Certificates of Conformity, Recognition of Their Invalidity." Official Internet Portal of Legal Information. <http://www.pravo.gov.ru>

Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2022 № 862 «Об утверждении Ветеринарных правил организации работы по оформлению ветеринарных сопроводительных документов, Порядка оформления ветеринарных сопроводительных документов в электронной форме и Порядка оформления ветеринарных сопроводительных документов на бумажных носителях». Официальный интернет-портал правовой информации. <http://www.pravo.gov.ru>

Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated 13.12.2022 No. 862 "On the Approval of Veterinary Rules for Organizing the Process of Issuing Veterinary Accompanying Documents, the Procedure for Issuing Veterinary Accompanying Documents in Electronic Form and the Procedure for Issuing Veterinary Accompanying Documents on Paper Media." Official Internet Portal of Legal Information. <http://www.pravo.gov.ru>