

ISSN 2712-7648

HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY

VOLUME 6 • ISSUE 3 • DECEMBER 2024

An abstract graphic of a molecular structure, featuring interconnected blue spheres of varying sizes and lines, set against a light blue background with bokeh effects.

HFB
HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY



№ 3 – 2024

Периодичность издания – 4 номера в год

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет» (РОСБИОТЕХ)

Редакция

Заведующий редакцией	—	Тихонова Елена Викторовна
Выпускающий редактор	—	Косычева Марина Александровна
Редактор по этике	—	Косычева Марина Александровна
Ответственный секретарь	—	Лаптева Елена Александровна
Медийный редактор	—	Щербакова Екатерина Олеговна

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ №ФС77-72959 от 25 мая 2018 г.

Адрес:

125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11
Тел. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: hfb@mgupp.ru
Официальный сайт учредителя: mgupp.ru
Официальный сайт редакции: hfb-mgupp.com

© ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет» (РОСБИОТЕХ), 2024.

№ 3 – 2024

Periodicity of publication – 4 issues per year

Founder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Biotechnological University» (BIOTECH University)

Editorial Team

Head of Editorial Team	—	Elena V. Tikhonova
Editor of Issue	—	Marina A. Kosycheva
Ethics Editor	—	Marina A. Kosycheva
Executive Secretary	—	Elena A. Lapteva
Social Media and Product Editor	—	Ekaterina O. Shcherbakova

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 FS77-72959 dated May 25, 2018.

Address::

11, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 125080
Tel. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: hfb@mgupp.ru
Official web site of Founder: mgupp.ru
Official web site of the Editorial Office: hfb-mgupp.com

© FSBEI HE «Russian Biotechnological University» (BIOTECH University) , 2024.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

■ ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Данильчук Татьяна Николаевна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

■ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Абдуллаева Асият Мухтаровна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Андреева Татьяна Ивановна

Институт пластмасс им. Г.С. Петрова, Россия

Бычков Алексей Леонидович

Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, Россия

Данильчук Татьяна Николаевна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Джавахян Марина Аркадьевна

Московский государственный медико-стоматологический университет им А.И. Евдокимова, Россия

Жилякова Елена Теодоровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия

Игнар Штефан

Варшавский университет естественных наук, Польша

Игнатенко Григорий Анатольевич

Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, ДНР

Кирш Ирина Анатольевна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Коврига Владислав Витальевич

ООО «Группа «Полимертепло», Россия

Корокин Михаил Викторович

Белгородский национальный исследовательский университет, Россия

Куркин Денис Владимирович

Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова, Россия

Маль Галина Сергеевна

Курский государственный медицинский университет, Россия

Налетов Андрей Васильевич

Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, ДНР

Новиков Олег Олегович

Научно-образовательный ресурсный центр РУДН, Россия

Оковитый Сергей Владимирович

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Россия

Присный Андрей Андреевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия

Сагян Ашот Серобович

Национальная Академия наук РА, Республика Армения

Самбандам Ананадан

Национальный институт технологий, Индия

Северинов Константин Викторович

Институт молекулярной генетики НИЦ «Курчатовский институт», Россия

Серба Елена Михайловна

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи (ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»), Россия

Симонов-Емельянов Игорь Дмитриевич

Российский технологический университет МИРЭА, Россия

Фриас Йезус

Дублинский технологический институт, Ирландия

Цыганова Татьяна Борисовна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Чалых Татьяна Ивановна

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Россия

Щетинин Михаил Павлович

Международная промышленная академия, Россия

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF**Tatyana N. Danilchuk**

Russian Biotechnological University (BIOTECH University)

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD**Asiyat M. Abdullaeva**

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Tatyana I. Andreeva

G.S. Petrov Scientific Research Institute of Plastics, Russia

Aleksey L. Bychkov

Institute of Solid-State Chemistry and Mechanochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Russia

Tatyana N. Danilchuk

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Marina A. Dzhevakhyan

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Russia

Elena T. Zhilyakova

Belgorod State University, Russia

Jesus Frias

Dublin Institute of Technology, Ireland

Stefan Ignar

Warsaw University of Life and Sciences, Poland

Grigory A. Ignatenko

Donetsk National Medical University, DPR

Irina A. Kirsh

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Mikhail V. Korokin

Belgorod State University, Russia

Vladislav V. Kovriga

Polymerteplo Group, Russia

Denis V. Kurkin

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Russia

Galina S. Mal

Kursk State Medical University, Russia

Andrey V. Nalyotov

Donetsk National Medical University, DPR

Oleg O. Novikov

RUDN University Shared Research and Educational Centre, Russia

Sergey V. Okovityi

Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Russia

Andrey A. Prisnyi

Belgorod State University, Russia

Ashot S. Saghyan

National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Armenia

Anandan Sambandam

National Institute of Technology of Tiruchirappalli, India

Elena M. SerbaAll-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Federal Research **Center for Nutrition**, Biotechnology and Food Safety, Russia**Konstantin V. Severinov**

Institute of Gene Biology Russian Academy of Sciences, Russia

Igor D. Simonov-Emelyanov

MIREA-Russian Technological University, Russia

Mikhail P. Schetinin

International Industrial Academy, Russia

Tatyana I. Tchalykh

Russian University of Economics named after G. V. Plekhanov, Russia

Tatyana B. Tsyganova

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

СОДЕРЖАНИЕ

РЕДАКТОРСКАЯ СТАТЬЯ

Е.В. Тихонова, М.А. Косычева
Институциональный адрес электронной почты автора научной статьи:
стандарт доверия в академической среде и инструмент редакции..... 6

ЗДОРОВЬЕ

А.Ю. Петров, А.М.Мельников, Е.Д. Югова
Исследования острой и хронической токсичности инъекционного препарата на основе 3N-6-метил-1H
пиримидин-2,4-диона 11

ПИТАНИЕ

А.Т. Васюкова, И.У. Кусова, А.В. Мошкин
Исследование физико-химических свойств зернобобового сырья для получения сухих
функциональных смесей 21

БИОТЕХНОЛОГИИ

Г. Ю. Белослюдова, А. Л. Панасюк
Влияние пестицидов на морфологию дрожжевой клетки в процессе брожения плодового суслу 35

Н. С. Баженов, М. И. Губанова, И. А. Кирш, О. А. Банникова, В. А. Дымицкий
Современное состояние и использование биоразлагаемых материалов 42

CONTENTS

EDITORIAL

Elena V. Tikhonova, Marina A. Kosycheva
Institutional Email Address of the Author of a Research Article: A Benchmark for Trust
in Academia and a Tool for Editors 7

HEALTH

Alexander Yu. Petrov, Alexander M.Melnikov, Elena D. Yugova
Studies of Acute and Chronic Toxicity of an Injectable Drug based
on 3N-6-Methyl-1H Pyrimidine-2,4-Dione..... 12

FOOD

Anna T. Vasyukova, Irina U. Kusova, Aleksandr V. Moshkin
Study of Physical and Chemical Properties of Grain Legume Raw Materials
for Obtaining Dry Functional Mixtures 22

BIOTECHNOLOGY

Galina Yu. Beloslyudova, Alexander L. Panasyuk
Influence of Pesticides on the Morphology of Yeast Cells During the Fermentation of Fruit Must 36

Nikita S. Bazhenov, Marina I. Gubanova, Irina A. Kirsh, Olga A. Bannikova, Viktor A. Dymitsky
Current State and Use of Biodegradable Materials..... 43

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s249>

Институциональный адрес электронной почты автора научной статьи: стандарт доверия в академической среде и инструмент редакции

Е.В. Тихонова, М.А. Косычева

Российский государственный
геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ),
Москва, Россия

Корреспонденция:

Тихонова Елена Викторовна,
Российский государственный
геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ),
117485, Россия, г. Москва,
ул. Миклухо-Маклая, 23
E-mail: tikhonovaev@mgri.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

Поступила: 01.12.2024

Поступила после
рецензирования: 12.12.2024

Принята: 14.12.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Статья рассматривает проблему утраты актуальности контактных адресов электронной почты в научных публикациях, что затрудняет научную коммуникацию и воспроизводимость исследований. Обсуждаются возможные решения, включая обязательное использование институциональных адресов электронной почты, их перенаправление, а также интеграцию с онлайн-идентификаторами, такими как ORCID. Авторы подчёркивают необходимость строгих политик журналов для повышения прозрачности и устойчивости контактных данных. Особое внимание уделено решениям, способным улучшить взаимодействие между авторами и читателями научных статей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

корпоративный e-mail; институциональная почта; научные журналы; прозрачность научной коммуникации; этика публикационной активности; фабрики статей; академическое доверие



Для цитирования: Тихонова, Е.В., & Косычева, М.А. (2024). Институциональный адрес электронной почты автора научной статьи: стандарт доверия в академической среде и инструмент редакции. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 6–10. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s249>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s249>

Institutional Email Address of the Author of a Research Article: A Benchmark for Trust in Academia and a Tool for Editors

Elena V. Tikhonova, Marina A. Kosycheva

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI), Moscow, Russia

Correspondence:

Elena V. Tikhonova,
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI), 23, Miklouho-Maclay St., Moscow, 117997, Russia
E-mail: tikhonovaev@mgri.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 01.12.2024

Received in revised form: 12.12.2024

Accepted: 14.12.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

The article addresses the issue of outdated contact email addresses in scientific publications, which obstructs effective scientific communication and the reproducibility of research findings. Possible solutions are discussed, including the mandatory use of institutional email addresses, their forwarding, and integration with online identifiers such as ORCID. The authors emphasize the need for strict journal policies to improve the transparency and sustainability of contact data. Particular attention is paid to solutions that can improve the interaction between authors and readers of research articles.

KEYWORDS

corporate email; institutional mail; scientific journals; transparency of scientific communication; ethics of publication activity; paper mills; academic trust



To cite: Tikhonova, E.V., & Kosycheva, M. A. (2024). Institutional email address of the author of a research article: A benchmark for trust in academia and a tool for editors. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 6–10. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s249>

ВВЕДЕНИЕ

Возможность связи с авторами научных публикаций играет ключевую роль в научной коммуникации, способствуя воспроизводимости исследований, обмену материалами и углублению научного взаимодействия. Однако исследования показывают, что указанные в публикациях контактные адреса электронной почты часто утрачивают свою актуальность (Kozak et al., 2014). Например, согласно данным Wren et al. (2006), 24 % контактных адресов в базе данных MEDLINE становятся недействительными в течение года после публикации, а через пять лет этот показатель достигает 50 %. Основной причиной этого является использование профессиональных адресов электронной почты, которые прекращают функционировать при смене места работы, особенно в корпоративной среде.

Одним из возможных решений данной проблемы является применение онлайн-идентификаторов, таких как ORCID, которые позволяют обеспечить надёжную связь с учёными, если все используемые ими электронные адреса привязаны к аккаунту-идентификатору. При этом авторы сохраняют возможность быть доступными даже после смены места работы, если их прежние корпоративные адреса связаны с ORCID-аккаунтом (Rodriguez-Esteban et al., 2022).

С учётом вышеуказанных факторов возникает дихотомия между использованием корпоративных и более «портативных» адресов (адресов бесплатных почтовых сервисов). Корпоративные адреса обеспечивают более высокую прозрачность и достоверность, однако они теряют актуальность при смене места работы автора. Напротив, портативные адреса сохраняют свою активность, но не всегда воспринимаются как надёжные в научной среде. На текущем этапе развития научной коммуникации целесообразным представляется тяготение к использованию корпоративных адресов с одновременной привязкой их к учётным записям-идентификаторам, что позволит авторам оставаться доступными для научного сообщества даже после смены места работы и не осложнит работу редакции по мониторингу статуса электронной почты потенциальных авторов.

Редакциям научных журналов следует внедрять строгую политику, направленную на обязательное указание корпоративных адресов электронной почты при подаче рукописей и для минимизации рисков использования авторами статей недействительных контактных данных с целью маскировки своих неэтичных действий. Эта мера позволит повысить прозрачность и достоверность научной коммуникации, предотвращая такие проблемы, как фальсификация данных и участие в «фабриках статей».

В статье обсуждаются этические и практические аспекты, связанные с внедрением таких редакционных политик, а также предлагаются рекомендации для редакторов по их реализации. Следование этим стандартам способствует укреплению доверия к научным публикациям, справедливости в отношении авторов и повышению эффективности научной коммуникации.

Прозрачность и подотчетность

Использование корпоративного e-mail позволяет четко идентифицировать автора и его аффилиацию, что уменьшает риск злоупотреблений, таких как использование поддельных или одноразовых адресов электронной почты. Как отмечает Teixeira da Silva (2024), такие злоупотребления могут включать подмену личности, использование адресов, не соответствующих заявленной аффилиации. Liu & Chen (2021) отмечают использование неverified веб-основных адресов e-mail «фабриками статей».

Борьба с мошенничеством

Корпоративный e-mail помогает выявлять и предотвращать случаи мошенничества, включая публикации от недобросовестных авторов, которые используют временные адреса для подачи рукописей, чтобы замаскировать свое неэтичное поведение в прошлом. В случае проверки контактного адреса редакция может обратиться к учреждению аффилированному с автором, чтобы подтвердить личность автора, что невозможно с использованием веб-основных адресов (Rodriguez-Esteban et al., 2022).

Усиление доверия

Корпоративный e-mail сигнализирует о принадлежности автора к определенному учреждению, что повышает доверие со стороны редакторов, рецензентов и научного сообщества. Shen et al. (2018) также указывают, что использование институционального e-mail может коррелировать с увеличением цитируемости статей.

Этические проблемы, которые решает использование корпоративного e-mail

Предотвращение конфликтов интересов

Прозрачность в указании аффилиации помогает избежать ситуаций, когда анонимные или неправдоподобные адреса маскируют истинные интересы автора. Например, корпоративный адрес снижает вероятность,

что автор скрывает свое участие в коммерческих проектах или других потенциально конфликтных инициативах (Teixeira da Silva, 2021).

Противодействие «фабрикам статей»

Одноразовые или веб-основные адреса часто ассоциируются с поддельными статьями. Корпоративный e-mail усложняет подобные махинации, так как связывает автора с его академической или профессиональной организацией, что требует определенного уровня подотчетности (Liu & Chen, 2021; Abalkina & Bishop, 2023).

Устранение сомнений в подлинности рецензентов

Некоторые журналы вводят обязательное использование институциональных адресов и для рецензентов (Teixeira da Silva, 2024). Такой подход обеспечивает более высокую вероятность того, что рецензенты являются частью научного сообщества и имеют соответствующую квалификацию.

Рекомендации по формулированию политики журнала

Четкость и последовательность

Журналы должны четко формулировать свои требования в инструкциях для авторов. Например, если использование корпоративного e-mail является обязательным, это должно быть явно указано в разделе инструкций для авторов и сопровождаться обоснованием, почему это необходимо (Teixeira da Silva, 2024).

Согласованность между системами

Требования, изложенные в инструкциях для авторов, должны соответствовать настройкам редакционных систем (например, ojs system). Несовпадение подрывает доверие авторов и вызывает путаницу (Teixeira da Silva, 2024).

Гибкость политики

Политики должны учитывать случаи, когда авторы не имеют институциональных адресов, например, независимые исследователи или аспиранты. В таких ситуациях можно предусмотреть возможность использования веб-основного адреса с предоставлением объяснения (Al-Khatib & Teixeira da Silva, 2017).

Прозрачность на всех этапах

Если дополнительные проверки адресов могут проводиться на этапе корректуры рукописи или рецензирования, это должно быть указано заранее. Неожиданные запросы на предоставление институционального e-mail могут вызвать недовольство авторов и осложнить редакционно-издательский цикл.

Пример корректно сформированной политики журнала использования e-mail при подаче рукописей

Обязательное использование институционального e-mail

При подаче рукописи авторы должны указать корпоративный адрес электронной почты, связанный с их текущим рабочим местом. Это требование направлено на обеспечение прозрачности, доверия и подлинности предоставляемых данных.

Требование к предоставлению e-mail всех авторов

Несмотря на то, что коммуникацию с редакцией осуществляет корреспондирующий автор, необходимо предоставить корпоративные адреса электронной почты всех авторов рукописи. Это необходимо для подтверждения их аффилиации и соответствия стандартам журнала.

Исключения из правила

В случаях, когда автор не имеет доступа к корпоративному адресу (например, независимые исследователи, аспиранты, работающие вне института), разрешается использовать веб-основной адрес электронной почты. При этом автор должен предоставить письменное подтверждение своей аффилиации, включая контактные данные руководителя или официального представителя организации, а e-mail должен включать полную фамилию автора и, если возможно, первую букву его имени.

Мониторинг аффилиации

Журнал оставляет за собой право проверить указанный адрес электронной почты на этапе рецензирования или публикации. В случае сомнений редакция может запросить у автора дополнительные подтверждающие документы.

Использование e-mail рецензентов

Рецензенты также должны предоставлять корпоративный адрес электронной почты для подтверждения их аффилиации и квалификации. В исключительных случаях редакция может рассмотреть использование веб-основных адресов при условии предоставления объяснения.

Прозрачность политики

Все этапы проверки адресов электронной почты подробно описаны в инструкциях для авторов. В случае возникновения вопросов авторы могут обратиться в редакцию для разъяснения политики.

Последствия несоблюдения

Рукописи, поданные с некорректной информацией об адресе электронной почты, могут быть отклонены до устранения несоответствий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование корпоративного e-mail при подаче рукописей играет ключевую роль в повышении прозрачности, подотчетности и доверия в научной публикации. Однако журналы должны стремиться к ясности и последовательности в своей политике, чтобы избежать недопониманий и не препятствовать доступу к публикациям. Соблюдение этих рекомендаций позволит создать честную и справедливую среду для всех участников исследовательского и редакционно-издательского циклов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Abalkina, A., & Bishop, D. (2023). Paper mills: A novel form of publishing malpractice affecting psychology. *Meta-Psychology*, 7, 1–10. <https://doi.org/10.15626/MP.2022.3422>
- Al-Khatib, A., & Teixeira da Silva, J. A. (2017). What rights do authors have? *Science and Engineering Ethics*, 23(3), 947–949. <https://doi.org/10.1007/s11948-016-9808-8>
- Kozak, M., Iefremova, O., Szkoła, J., & Sas, D. (2015). Do researchers provide public or institutional e-mail accounts as correspondence e-mails in scientific articles? *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66(10), 2149–2154. <https://doi.org/10.1002/asi.23401>
- Liu, X.-M., & Chen, X.-T. (2021). Authors' noninstitutional emails and their correlation with retraction. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 72(4), 473–477. <https://doi.org/10.1002/asi.24419>
- Rodriguez-Esteban, R., Vishnyakova, D., & Rinaldi, F. (2022). Revisiting the decay of scientific email addresses. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 73(1), 136–139. <https://doi.org/10.1002/asi.24545>
- Shen, S., Rousseau, R., & Wang, D. (2018). Do papers with an institutional e-mail address receive more citations than those with a non-institutional one? *Scientometrics*, 115(2), 1039–1050. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2691-0>
- Teixeira da Silva, J. A. (2021). Are mandatory institutional emails for manuscript submission an unfair and discriminatory policy? *Journal of Interdisciplinary Medicine*, 6(4), 189–191. <https://doi.org/10.2478/jim-2021-0039>
- Teixeira da Silva, J. A. (2024). Discontinuity between journals' registration and submission requirements for open researcher and contributor ID (ORCID). *Nurse Author & Editor*, 34(2), e12061. <https://doi.org/10.1111/nae2.12061>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s226>

Исследования острой и хронической токсичности инъекционного препарата на основе 3N-6-метил-1H пиримидин-2,4-диона

А.Ю. Петров¹, А.М.Мельников^{1,2}, Е.Д. Югова¹

¹ Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

Корреспонденция:

Мельников Александр Михайлович,
Уральский государственный медицинский университет,
620028, Россия, г.Екатеринбург,
ул. Репина, 3
E-mail: alexMM2001@yandex.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 10.08.2024

Поступила после
рецензирования: 30.11.2024

Принята: 25.12.2024

Copyright: © 2024 Авторы

Соответствие принципам этики:

Соответствие всем этическим требованиям проведенной экспериментальной работы подтверждено заключением комиссии по вопросам биоэтики ФГБОУ ВО Уральский государственный медицинский университет (Россия, г.Екатеринбург, ул. Репина, 3), протокол №8 от 24.12.2024 г. Условия содержания животных и работы с ними соответствовали принципам Хельсинкской декларации о гуманном отношении к животным, директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 г. о защите животных, используемых для научных целей, ГОСТ 33044–2014 «Принципы надлежащей лабораторной практики», утвержденному Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 1700-ст от 20 ноября 2014 г.

АННОТАЦИЯ

Введение. По статистике, в 2022 году в Российской Федерации было зарегистрировано 3 324,4 тыс. впервые выявленных заболеваний некоторыми инфекционными и паразитарными болезнями. Из них на 1000 человек населения 22,7 впервые выявленных случаев. Ситуация еще больше осложняется появлением новых штаммов со множественной лекарственной устойчивостью и широкой устойчивостью, а также фатальным синергизмом с ВИЧ/СПИД инфекцией.

Цель исследования. Разработка новых соединений с адекватным профилем безопасности и обладающих фунгицидным и противопаразитарным эффектом необходима для эффективного лечения и полного излечения заболевания. Оценка острой и хронической токсичности нового лекарственного препарата является необходимым этапом доклинического исследования безопасности. В связи с этим целью настоящей работы было определение острой и хронической токсичности разработанного химического соединения.

Материалы и методы. Химическая субстанция пиримидин 2,4 диона (1-амино, 6-метил пиримидин 2,4 дион) (ПД-2,4), была синтезирована на базе ФГБУ ВО «Уральский государственный университет» и представляла собой белый кристаллический порошок. В ходе исследования исследуемый образец хранили в темноте при температуре 5–6 °С и растворяли в 0,7 % растворе натрия гидрокарбоната. Оценка острой и хронической токсичности проводилась согласно руководству к проведению доклинических исследований лекарственных средств. Эксперименты были заранее рассмотрены и одобрены комитетом по этике животных УГМУ.

Результаты. При изучении острой токсичности препарата (ПД-2,4) на беспородных белых мышах и крысах обоего пола при пероральном или внутрибрюшинном введении определение средней смертельной дозы не представлялось возможным из-за отсутствия гибели животных в условиях достижения максимально возможных концентраций и максимально допустимых объемов введения.

Выводы. В результате исследования установлено, что при пероральном и внутрибрюшинном введении ПД-2,4 является малотоксичным и, по классификации Сидорова К.К. (1973 г.), может быть отнесен к 4-у классу токсичности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

острая токсичность, хроническая токсичность, фармакологический анализ, мыши



Для цитирования: Петров, А. Ю., Мельников, А.М., & Югова, Е.Д. (2024). Исследования острой и хронической токсичности инъекционного препарата на основе 3N-6-метил-1H пиримидин-2,4-диона. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 11–20. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s226>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s226>

Studies of Acute and Chronic Toxicity of an Injectable Drug based on 3N-6-Methyl-1H Pyrimidine-2,4-Dione

Alexander Yu. Petrov¹, Alexander M. Melnikov^{1,2}, Elena D. Yugova¹

¹ Ural State Medical University,
Yekaterinburg, Russia

² Ural State University of Economics,
Yekaterinburg, Russia

Correspondence:

Alexander M. Melnikov,
Ural State Medical University,
3 Repina St., Yekaterinburg, 620028, Russia
E-mail: alexMM2001@yandex.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 10.08.2024

Received in revised form: 30.11.2024

Accepted: 25.12.2024

Copyright: © 2024 The Authors

Compliance with the principles of ethics:

Compliance with all ethical requirements of the conducted experimental work was confirmed by the conclusion of the Bioethics Commission of the Ural State Medical University (Yekaterinburg, Russia, 3 Repina St.), Protocol No. 8 dated 12/24/2024. The conditions for keeping and working with animals were consistent with the principles of the Helsinki Declaration on the Humane Treatment of Animals, Directive 2010/63/EC of the European Parliament and of the Council of the European Union of September 22, 2010. on the protection of animals used for scientific purposes, GOST 33044-2014 "Principles of good Laboratory Practice", approved by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology No. 1700-st dated November 20, 2014.

ABSTRACT

Introduction. According to statistics, in 2022, 3,324.4 thousand newly diagnosed diseases with certain infectious and parasitic diseases were registered in the Russian Federation. Of these, 22.7 cases were detected for the first time per 1000 people of the population. The situation is further complicated by the emergence of new multidrug-resistant and broadly resistant strains, as well as fatal synergism with HIV./AIDS infection.

Purpose. The development of new compounds with an adequate safety profile and with fungicidal and antiparasitic effects is necessary for effective treatment and complete cure of the disease. Assessment of the acute and chronic toxicity of a new drug is a necessary step in preclinical safety research. In this regard, the purpose of this work was to determine the acute and chronic toxicity of the developed chemical compound.

Materials and Methods. The chemical substance pyrimidine 2,4 dione (1 amino, 6-methyl pyrimidine 2,4 dione) (PD-2,4) was synthesized on the basis of the Ural State University and was a white crystalline powder. During the study, the test sample was stored in the dark at a temperature of 5–6 °C and dissolved in 0.7 % sodium bicarbonate solution. The assessment of acute and chronic toxicity was carried out according to the guidelines for conducting preclinical studies of medicines. The experiments were reviewed in advance and approved by the UGMU Animal Ethics Committee.

Results. When studying the acute toxicity of the drug (PD-2,4) in outbred white mice and rats of both sexes with oral or intraperitoneal administration, it was not possible to determine the average lethal dose due to the lack of death of animals in conditions of achieving the maximum possible concentrations and the maximum allowable volumes of administration.

Conclusions. As a result of the study, it was found that PD-2,4 is low-toxic with oral and intraperitoneal administration and, according to the classification of K.K. Sidorov (1973), can be classified as a 4th class of toxicity.

KEYWORDS

acute toxicity, chronic toxicity, pharmacological analysis, mice



To cite: Petrov, A. Yu., Melnikov, A. M., & Yugova, E. D. (2024). Acute and chronic toxicity studies of an injectable drug based on 3N-6-methyl-1H pyrimidine-2,4-dione. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 11–20. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s226>

ВВЕДЕНИЕ

Аденокарциномы легких являются основной причиной смертности от рака в мире, что представляет собой значительную проблему при постановке диагноза на поздних стадиях и ограничивают возможности хирургического лечения (Мухаммадиева, 2021). Преобладающим подходом такого лечения является мультимодальная терапия, представляющая собой сочетанное (одновременное) или последовательное, поэтапное комбинированное применение нескольких методов лечения при лечении одной и той же злокачественной опухоли у одного и того же пациента (Цибизова и соавт 2021). Однако прогнозы на выживаемость пациентов всё равно остаются неудовлетворительным. Данная ситуация побуждает к созданию новых соединений и лекарственных препаратов на их основе, воздействующих на новые пути реакции организма, измененные при аденокарциноме легких, а также к поиску потенциальных адъювантных стратегий или новых схем лечения данного заболевания (Безбородова и соавт, 2020; Карпенко & Алистратова, 2020).

Важным является поиск лекарственных препаратов и исследование их острой и хронической токсичности. В рамках исследований проводятся тесты, направленные на определение возможных токсических эффектов при различных дозировках и длительном воздействии. Острая токсичность оценивается через изучение реакции организма на единовременное воздействие соединения, в то время как хроническая токсичность предполагает изучение долгосрочных эффектов при повторном воздействии на протяжении определенного периода времени. В связи с этим создание нового ЛП на основе 3N-6-метил-1H пиримидин-2,4-диона и исследование его острой и хронической токсичности представляется обоснованным (Кильметова, 2008). Целью данной научной статьи является проведение исследования острой и хронической токсичности инъекционного ЛП на основе 3N-6-метил-1H-пиримидин-2,4-диона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

В эксперименте участвовали лабораторные беспородные мыши ($n = 50$, масса 25–32 г) в возрасте 7 недель обоего пола в соотношении 1:1. Животные содержались в виварии в соответствии с ГОСТ 33216–2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными». При заселении в клетку всех животных обследовали на предмет состояния здоровья, чтобы

подтвердить их пригодность для исследования. Аклиматизация мышей к лабораторным условиям проходила в течение 7 дней до начала проведения испытаний. Во время данного периода ежедневно проводили осмотр внешнего состояния животных, патологических отклонений у мышей не было обнаружено.

Мышей размещали в зависимости от пола группами по 5 особей на клетку и от 2 до 3 особей на клетку соответственно в помещении для животных с контролируемой средой и отдельным барьером. Группы животных формировали методом простой рандомизации.

Мышам давали стандартный пищевой рацион и питьевую воду без ограничений. За исключением незначительных изменений, во всех помещениях с животными контролировали и поддерживали 12-часовой цикл света и темноты (150–300 люкс), температуру в диапазоне от 19 до 25 °C и относительную влажность от 30 % до 70 % (Мышкин, 2016).

Острая токсичность внутрибрюшинно. Для определения острой токсичности использовали следующую методику. Самки и самцы мышей в возрасте 40 дней распределялись случайным образом ($n = 5$ самцов и самок в группе) и разделялись на контрольную группу (группа 1) на исследуемые (2–4 группы) группы. В группы 2, 3 и 4, вводили 300, 600, и 900 мг, раствора ПД-2,4 /кг массы мыши в день соответственно. ПД-2 вводили однократно внутрибрюшинно в дозах 300 мг/кг, 600 мг/кг и 900 мг/кг массы тела. Контрольным животным вводили такой же объем раствора натрия гидрокарбоната. После введения за всеми животными наблюдали через 30 минут, 1, 2, 4 и 6 часов, а затем в течение оставшегося экспериментального периода в общей сложности 14 дней. За всеми животными наблюдали не реже одного раза в день. Массу тела измеряли в начале лечения и через 1, 3, 7 и 14 дней после введения. Стратегия внутрибрюшинной токсичности и установка максимальной концентрации применялись на основе метода класса острой токсичности. Методика исследования разработана в соответствии с требованиями Руководства по проведению доклинических исследований лекарственных средств¹. В эксперименте с внутрибрюшинным введением оценки острой токсичности препарат вводили в описанных выше концентрациях по 0,5 мл с помощью шприца (Дербисбекова, 2017).

Хроническая токсичность. Хроническую токсичность определяли после установления отсутствия острой токсичности. Хроническую токсичность оценивали в течение 2-х недель.

¹ Научный центр экспертизы средств медицинского применения Минздрава России (2012) Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть 1. Гриф и К

Каждая группа состояла из мышей (5 самцов и 5 самок), и группы были разделены на подгруппы с дозой 300 мг, 600 мг и 900 мг ПД-2,4 /кг (масса мышей) (в день) и контрольную группу. В течение периода наблюдения умер 1 самец и 1 самка в группе, принимавшей 900 мг ПД-2,4 на кг массы в день, а небольшое снижение массы тела и перорального приема наблюдалось в группе, принимавших также 900 мг ПД-2 на кг массы тела мыши в течение дня. На основании этого предварительного эксперимента был сделан вывод, что доза 4-недельного теста на хроническую токсичность с повторной дозой должна быть установлена на уровне менее 900 мг ПД-2,4/кг массы тела мыши в день.

При оценке хронической токсичности в 4-недельном тесте на токсичность с повторным введением 60 здоровым мышам (самцов и самок) были отобраны по среднему весу и распределены на контрольную и 3 группы дозировки: низкую (300 мг ПД-2,4/кг), среднюю (600 мг ПД-2,4 /кг) и высокую (900 мг ПД-2,4/кг). Группы контроля и высокой дозировки состояли из 5 мышей каждого пола, всего по 10 мышей в каждой группе, тогда как группы низкой и средней дозировки состояли из 5 мышей каждого пола, всего по 10 мышей в каждой группе. ПД-2,4 вводили внутривенно в дозе 0,5, 1,0, 1,5 мл/кг массы тела каждый день в течение 4 недель. Контрольным животным вводили такой же объем воды для инъекций. В течение периода введения наблюдали за общим внешним видом животных один раз в день. Массу тела, потребление пищи и воды регистрировали ежедневно. После периода лечения были отобраны 5 самцов и 5 самок мышей, и такой же состав контрольной группы. Наблюдение за ними проводили в течение 2 недель.

Статистическую обработку данных по динамике массы тела мышей и ее прироста выполняли в соответствии с общепринятыми статистическим стандартам.

Ввиду того, что данные не отличались от нормального распределения, а дисперсии были гомогенны, для анализа изменений массы тела и ее прироста использовали параметрические методы. При сравнении нескольких выборок использовали однофакторный дисперсионный анализ или дисперсионный анализ для повторных измерений. В последнем методе результаты измерений были обработаны методом множественных сравнений по Даннелу.

В случае сравнения двух выборок использовали t-критерий Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$ [Измайлова и соавт., 2013].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы

Химическая субстанция пиримидин 2,4 диона (1-амино, 6-метил пиримидин 2,4 дион), раствор натрия гидрокарбоната.

Среднюю массу мыши рассчитывали по алгоритму:

- вычисляли среднее арифметическое результатов наблюдений, например, для средней массы мыши

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{31,1+29+28,3+28,8+31,1+32,1+31,1+28,7+28+30}{10} = 29,81$$

- вычисляли оценку среднего квадратического отклонения результата наблюдения:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_{cp})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{18,49}{(10-1)}} = \sqrt{\frac{18,49}{9}} = 1,43$$

$$\sigma = S^2 = 1,43^2 = 2,05 \text{ (дисперсия)}$$

Определив σ , проверяли наличие в группе наблюдений грубых погрешностей, помня, что при нормальном законе распределения ни одна случайная погрешность $x_i - X$, с вероятностью, практически равной 1, не может выйти за пределы $\pm 3\sigma$. Наблюдения, содержащие грубые погрешности, подлежали бы исключению из группы и требовали повторение вычислений заново X и σ .

Определив $\pm 3\sigma$ равными $3 \cdot 2,05 = \pm 6,16$, располагаем массы от меньшего к большему 28, 28,3, 28,7, 28,8, 29, 30, 31, 31,1, 31,1, 32,1.

Интервал по массе мышей составляет от 28 до 32,1 составляет 4,1, что меньше 6,16 и является удовлетворительным. Таким образом, исследуемые животные укладывались в необходимый интервал. Данным методом была исследована вся выборка мышей (50 особей). Средняя квадратичная погрешность среднего арифметического $S_{\bar{x}}$ рассчитывалась по формуле:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \frac{1,43}{\sqrt{10}} = 0,45$$

Случайная составляющая погрешности результата измерения массы мышей при заданной вероятности $P 95\%$:

$$\varepsilon = t_{\varepsilon} \cdot \sigma = 0,45 \cdot 2,31 = 1,03 \text{ г}$$

Относительная погрешность 3,44 %. Систематическая погрешность в данном случае не рассчитывалась.

Тест Шапиро-Уилка не выявил существенного отклонения от нормы, $W(10) = 0,91$, $p = 0,268$. Форма асимме-

трии потенциально симметричный ($p_{\text{val}}=0,845$), форма эксцесса потенциально мезокуртик, нормальные хвосты ($p_{\text{val}}=0,301$), выбросы отсутствуют (Мышкин и соавт., 2014).

Оборудование

Лабораторные беспородные мыши, открытое поле.

Инструменты

Инсулиновые шприцы, флакон пенициллиновый 10 мл с гладким горлом.

Методы

Фармакологические методы исследования, доклинические методы исследования

При изучении острой токсичности препарата (ПД-2,4) на беспородных белых мышах и крысах обоего пола при пероральном или внутрибрюшинном введении определение средней смертельной дозы не представлялось возможным из-за отсутствия гибели животных в условиях достижения максимально возможных концентраций и максимально допустимых объемов введения. В ходе эксперимента у мышей, получивших (ПД-2,4) перорально или внутрибрюшинно, двигательная активность оставалась на том же уровне, что и до приема вещества, нарушение ритма дыхания не наблюдалось. Не было отмечено нарушений ушного и корнеального рефлексов. Рефлексы проверяли прикосновением ваткой к уху и роговице (конъюктиве) глаза. Никаких значимых клинических особенностей не наблюдалось у животных ни в контрольной, ни в исследуемых группах при дозах 300 мг/кг, 600 мг /кг и 900 мг / кг в течение 14 дней после введения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При введении препарата (ПД-2,4) наблюдали изменения средней массы тела у самцов и самок мышей в группах, получавших лечение, в течение периода испытания представлены на Диаграмме 1.

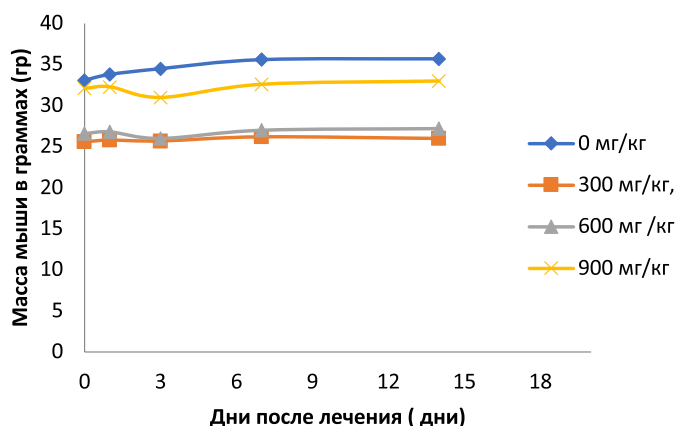
При высоких уровнях дозировки (900 мг/кг) как самцы, так и самки животных показали снижение веса тела на 3,5 %, но постепенно восстановились до нормального веса. Лечение ПД-2,4 (в дозах 300, 600 и 900 мг/кг) не привело к значительному изменению характера потребления пищи и воды в течение периода исследования. Во время вскрытия у мышей не было обнаружено никаких круп-

Диаграмма 1

Изменение средней массы тела

Diagram 1

Change in Average Body Weight



Примечание. Масса тела мыши после однократного внутрибрюшинного введения ПД-2,4 (300 мг/кг, 600 мг/кг, 900 мг/кг) у самцов и самок.

Note: Body weight of mice after a single intraperitoneal injection of PD-2.4 (300 mg/kg, 600 mg/kg, 900 mg/kg) in males and females.

ных поражений. Эти результаты свидетельствуют о том, что острое воздействие ПД-2,4 не вызывает токсических эффектов, а его 50 %-ная летальная доза (LD50), по-видимому, превышает 900 мг/кг для мышей.

После 2-х суток животных помещали в клетки группового содержания, двигательная активность не была нарушена, отдельные особи (мыши) были гиперактивны, выпрыгивали из рук. С точки зрения акустической сигнализации мыши не вокализировали, не горбились, шерсть их не была взъерошенной, боковая линия находилась на обычном месте.

Мышей проверяли на наличие/отсутствие клинических признаков острой боли. Результаты исследования острой токсичности представлены в Таблице 1. Из таблицы видно, что мыши мужского пола контрольной группы пребывали без особенностей в течение всех 14 дней. Попытку защититься, убежать и укусить испытывала одна мышь при концентрации 600 мг/кг и 900 мг/кг вокализировала тоже одна мышь при пальпации больного участка при постановке инъекций 600 мг/кг, данные звуковые сигналы могут быть связаны с неудачной постановкой инъекции. Облизывали, покусывали, царапали поврежденную кожу преимущественно две мыши при разных концентрациях лекарственного препарата. Одна мышь испытывала постоянное беспокойство, неподвижных особей мужского пола не наблюдалось. Отказ двигаться или вставать испытывала одна мышь на 14 сутки по-

Таблица 1
Клинические признаки острой боли мышей во время теста для определения внутрибрюшинной дозы
Table 1
Clinical Signs of Acute Pain in Mice during the Intraperitoneal Dose Determination Test

Пол	Доза (мг/кг)	Количество животных в группе	Клинический признак	Дни													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
м	0	5	Без особенностей	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ж	0	5	Без особенностей	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
м	300 /600/ 900мг/кг	5	Без особенностей	5/5/5	5/5/5	5/5/5	5/5/5	5/5/5	5/5/5	5/5/5	4/5/5	5/5/5	5/5/5	5/5/4	4/5/4	4/5/4	5/5/4
			Попытка защититься, убежать, укусить													1/0/1	
			Вокализация. Звуковые сигналы писк, звук, стон при пальпации болезненного участка												1/0/0		
			Повреждение, облизывание, кусание, царапание.								1/0/0			0/0/1			
			Беспокойство: постоянное движение, смена позы,												0/0/1		
			Неподвижность														
			Угнетенность: отказ двигаться или вставать														0/0/1
			Аномальный внешний вид: сгорбленная поза.														
ж	300/600/ 900 мг/кг	5	Без особенностей	5/5/5	5/5/5	5/5/5	5/5/5	5/5/5	5/5/5	5/5/5	5/5/5	5/5/5	4/5/5	5/5/5	5/4/4	5/5/5	5/5/4
			Попытка защититься, убежать, укусить														0/0/1
			Вокализация. Звуковые сигналы писк, звук, стон при пальпации болезненного участка														
			Повреждение, облизывание, кусание, царапание.												0/1/0		
			Беспокойство: постоянное движение, смена позы,														
			Неподвижность										0/0/1				
			Угнетенность: отказ двигаться или вставать														
			Аномальный внешний вид: сгорбленная поза.												0/0/1		

Примечание. Из таблицы видно, что мыши мужского пола контрольной группы пребывали без особенностей в течение всех 14 дней.
Note: The table shows that the male mice in the control group remained normal throughout the 14 days.

Таблица 2
Клинические признаки дистресса мышей во время теста для определения внутрибрюшинной дозы
Table 2
Clinical Signs of Distress in Mice during the Intraperitoneal Dose Determination Test

Пол	Доза (мг/кг)	Количе- ство жи- вотных в группе	Клинический признак	Дни													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
м	0	5	Без особенностей	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ж	0	5	Без особенностей	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
м	300 мг/кг	5	Без особенностей	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5
			Черный цвет кала	—	—	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—
			Слюноотделение (до введения дозы)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
ж	300 мг/кг	5	Без особенностей	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5
			Черный цвет кала	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—
			Слюноотделение (до введения дозы)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
м	600 мг/кг	5	Без особенностей	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	5	4	5	3
			Черный цвет кала	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
			Слюноотделение (до введения дозы)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Слюноотделение (после введения дозы)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Нарушение дыхания	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—
			Пилоэрекция	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Сальность	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Отказ от кормления	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			загрязнённость	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—
			Сдutie в месте введения препарата	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Уменьшение объема фекалий	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
			Уменьшение потребления пищи	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Хроматурия мочи	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Без особенностей	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
ж	600 мг/кг	5	Черный цвет кала	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
			Слюноотделение (до введения дозы)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Слюноотделение (после введения дозы)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Нарушение дыхания	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Пилоэрекция	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Сальность	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Отказ от кормления	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Загрязнённость	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—
			Сдutie в месте введения препарата	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Уменьшение объема фекалий	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Уменьшение потребления пищи	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Хроматурия мочи	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Без особенностей	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4	4	4	4	3
			Уменьшение потребления пищи	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	—	1	—
			Уменьшение объема фекалий	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—
м	900 мг/кг	5	Стул со слизью	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Мягкий стул	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Вздутие в месте инъекции	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Черноватый стул	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
			Пилоэрекция	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Шатающаяся походка	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Слюноотделение (до введения дозы)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Слюноотделение (после введения дозы)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Хроматурия мочи	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Затруднение дыхания	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	—	—	—	—
			Бледность	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—
			Потеря шерсти	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1

ОкончаниеТаблицы 1

Пол	Доза (мг/кг)	Количе- ство жи- вотных в группе	Клинический признак	Дни													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ж	900 мг/кг	5	Без особенностей	5	5	5	5	5	5	4	3	2	1	2	2	2	4
			Уменьшение потребления пищи	–	–	–	–	–	–	1	1	1	–	–	–	–	–
			Уменьшение объема фекалий	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	1	1	–	–
			Стул со слизью	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			Мягкий стул	–	–	–	–	–	–	–	1	1	1	–	–	–	–
			Вздутие в месте инъекции	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			Черноватый стул	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	1
			Пилоэрекция	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–
			Шатающаяся походка	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–
			Слюноотделение (до введения дозы)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			Слюноотделение (после введения дозы)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			Хроматурия мочи	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			Затруднение дыхания	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			Бледность	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–
			Потеря шерсти	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	–	–	–	–
			Истощение	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			Положение лежа	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			Смерть	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. При оценке клинических признаков дистресса сравнение происходило с контрольной группой.

Note. When assessing clinical signs of distress, comparisons were made with the control group.

становки инъекции в максимальных дозировке 900 мг/кг. Аномального внешнего вида и сгорбленной позы для особей мужского пола не наблюдалось.

Для мышей женского пола наблюдалась похожая картина. Облизывание, покусывание у одной мыши себя с концентрацией ЛП 600 мг/кг. Неподвижной была одна мышь при концентрации 900 мг/кг на десятые сутки и аномальный вид сгорбленная поза была на 12 сутки также у одной мыши.

К началу вторых суток после введения ПД-2,4 большинство мышей были активны и любопытны. Внешний вид не вызывал отклонений. К концу первой недели и до окончания эксперимента животные были активны, охотно потребляли корм, пили воду. Поведение экспериментальных мышей в этот период наблюдения не отличалось от поведения животных контрольной группы.

В первые двое суток после введения препарата отмечалось незначительное уменьшение потребления корма и воды. Критического снижения массы тела и ее прироста у некоторых опытных животных не происходило.

Клинические признаки дистресса мышей во время теста для определения внутрибрюшинной дозы представлены в Таблице 2. При оценке клинических признаков дистресса сравнение происходило с контрольной группой. При дозировке 300 мг/кг наблюдались единичные

случаи дистресса у мужских особей мышей (обнаружение черного цвета кала и слюноотделением до введения дозы (14 день)), при увеличении дозы лекарственного препарата 600 мг/кг на 12 день наблюдалось нарушение дыхания у одной мыши, объём фекалий и уменьшение потребления пищи наблюдался также у одной особи на 13–14 день. У женских особей мышей наблюдался единичный случай загрязненности на 13 день.

При концентрации лекарственных препарата 900 мг/кг случаев дистресса наблюдалось несколько случаев дистресса у мужских особей. Наблюдались два случая затруднения дыхания, один случай бледности 12 день, потеря шерсти, черноватый стул на 14 день. У женских особей мышей также наблюдали некоторые случаи дистресса при введении ЛП в большой концентрации. Они заключались в 3 случаях стула со слизью, вздутие вместе инъекций 12–14 день и один случай пилоэрекции (Землянко и соавт., 2023).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам экспериментов исследования выявлено, что мыши не испытывали четко выраженных случаев острой боли и дистресс синдрома. Выявленные случаи были единичными. Важно, что к окончанию эксперимента не было выявлено закономерных различий в показателях прироста массы тела у опытных животных

по сравнению с контрольными значениями. В показателях потребления корма и воды в данных группах к окончанию эксперимента также не было выявлено закономерных различий с контрольными группами.

Морфологическая картина внутренних органов, обнаруженная при патологоанатомическом вскрытии всех экспериментальных животных, не отличалась от таковой, наблюдаемой у контрольных животных.

В результате исследования установлено, что при пероральном и внутрибрюшинном введении ПД-2,4 является малотоксичным и может быть отнесён к 4-у классу токсичности.

ВКЛАД АВТОРОВ

Петров А. Ю.: Формулирование идеи; формулирование исследовательских целей и задач, концептуализация, разработка методологии исследования, курирование данных, научное руководство исследованием, написание — подготовка черновика рукописи

Мельников А. М.: работа с программным обеспечением, написание — подготовка черновика рукописи, визуализация, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи

Югова Е. Д.: предоставление учебных материалов, реагентов, материалов, пациентов, лабораторных образцов, животных, приборов, вычислительных ресурсов или других инструментов анализа, написание — подготовка черновика рукописи

AUTHORS CONTRIBUTION STATEMENT:

Alexander Yu. Petrov: conceptualization; methodology; data curation; project administration; writing — original draft preparation

Alexander M. Melnikov: software; visualisation; investigation; writing — original draft preparation; writing — review & editing

Elena D. Yugova: resources; writing — original draft preparation

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCE

Безбородова, О. А., Панкратов, А. А., Немцова, Е. Р., Венедиктова, Ю. Б., Воронцова, М. С., Енгальчева, Г. Н., & Сюбаев, Р. Д. (2020). Противоопухолевые лекарственные препараты: планирование доклинических исследований по оценке эффективности и безопасности. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения*, 10(2), 96–110. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2020-10-2-96-110>

Bezborodova, O. A., Pankratov, A. A., Nemtsova, E. R., Venediktova, Yu. B., Vorontsova, M. S., Engalychева, G. N., & Syubaev, R. D. (2020). Anti-tumour drugs: Planning preclinical efficacy and safety studies. *The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products*, 10(2), 96–110. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2020-10-2-96-110> (In Russ.)

Дербисбекова, У. Б. (2017). Морфологическое изучение почек животных при изучении острой и подострой токсичности субстанции производного пиримидина. *Актуальные научные исследования в современном мире*, (5–3), 25–29.

Derbisbekova, U. B. (2017). Morphological study of animal kidneys in the study of acute and subacute toxicity of a pyrimidine derivative substance. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*, (5–3), 25–29. (In Russ.)

Землянка А. А., Габитова, Н. М., Макалатия, М. К., & Цибизова, А. А. (2023). Оценка острой токсичности пиримидинового

соединения. В *Пути и формы совершенствования фармацевтического образования. Актуальные вопросы разработки и исследования новых лекарственных средств* (с. 559–562).

Zemlyanko, A. A., Gabitova, N. M., Makalatia, M. K., & Tsibizova, A. A. (2023). Evaluation of acute toxicity of pyrimidine compound. In *Ways and forms of improving pharmaceutical education. Actual issues of development and research of new drugs* (p. 559–562). (In Russ.)

Измайлова, А. Х., Шакирова, Д. Х., & Измайлов, А. Г. (2013). Препараты пиримидинового ряда в экспериментальных и клинических исследованиях. *Вестник современной клинической медицины*, 6, Приложение 2.

Izmailova, A. Kh., Shakirova, D. Kh., & Izmailov, A. G. (2013). Pyrimidine drugs in experimental and clinical studies. *Bulletin of Modern Clinical Medicine*, 6, Supplement 2. (In Russ.)

Карпенко Л. Ю. & Алистратова Ф. И. (2022). Некоторые морфофункциональные особенности у мышей, при моделировании токсичности. *Академическая публицистика*, (2–1), 198–202.

Karpenko, L. Yu., & Alistratova, F. I. (2022). Some morphofunctional features in mice, when modeling toxicity. *Akademicheskaya publicistika*, (2–1), 198–202. (In Russ.)

- Кильметова, И. Р. (2008). *Фармакология и применение новых производных пиримидина* [Докторская диссертация, Кубанский государственный аграрный университет]. Краснодар.
- Kilmetova, I. R. (2008). *Pharmacology and application of new pyrimidine derivatives* [Doctoral dissertation, Kuban State Agrarian University]. Krasnodar. (In Russ.)
- Мухаммадиева, А. С. (2021). Исследования острой и хронической токсичности антигельминтного соединения «К-55». *Ветеринарная патология*, (1(75)), 18–24. <https://doi.org/10.25690/VETPAT.2021.76.54.010>
- Mukhammadieva, A. S. (2021). Research of acute and chronic toxicity of antihelminth compound «K-55». *Russian Journal of Veterinary Pathology*, (1):18–24. <https://doi.org/10.25690/VETPAT.2021.76.54.010> (In Russ.)
- Мышкин, В. А., Еникеев, Д. А., & Игбаев, Р. К. (2014). Антитоксические свойства производных пиримидина. *Фундаментальные исследования*, (10–5), 945–950.
- Myshkin, V. A., Enikeev, D. A., & Igbaev, R. K. (2014). Antitoxic properties of pyrimidine derivatives. *Fundamental Research*, (10–5), 945–950. (In Russ.)
- Мышкин, В. А., Еникеев, Д. А., Срубиллин, Д. В., & Гимадиева, А. Р. (2016). Экспериментальная оценка производных пиримидина на моделях токсического поражения печени: обзор. Научное обозрение. *Медицинские науки*, (3), 88–98.
- Myshkin, V. A., Enikeev, D. A., Srubilin, D. V., & Gimadieva, A. R. (2016). Experimental evaluation of pyrimidine derivatives in models of toxic liver injury: a review. *Scientific review. Medical sciences*, (3), 88–98. (In Russ.)
- Цибизова, А. А., Ясенявская, А. Л., Озеров, А. А., Самотруева, М. А., & Тюренков, И. Н. (2021). Оценка острой токсичности нового пиримидинового производного. *Астраханский медицинский журнал*, 16(1), 82–87. <https://doi.org/10.17021/2021.16.1.82.87>
- Tsibizova, A. A., Yasenyavskaya, A. L., Ozerov, A. A., Samotrueva, M. A., & Tyurenkov, I. N. (2021). Acute toxicity assessment a new pyrimidine derivative. *Astrakhan medical journal*. 16(1):82–87. <https://doi.org/10.17021/2021.16.1.82.87> (In Russ.)

Исследование физико-химических свойств зернобобового сырья для получения сухих функциональных смесей

А.Т. Васюкова¹, И.У. Кусова¹, А.В. Мошкин²

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

² ООО «СторХан»

Корреспонденция:

Васюкова Анна Тимофеевна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: vasyukova-at@yandex.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 23.09.2024

Поступила после
рецензирования: 15.12.2024

Принята: 17.12.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Использование богатых белком бобовых культур совместно с зерновым сырьем и пряностями, обладающими повышенной биологической ценностью, позволяет обогатить продукты биодоступными антиоксидантами фенольной природы и сбалансировать аминокислотный состав. Полученные сухие функциональные смеси будут воздействовать на основные физиологические процессы организма и укреплять иммунитет.

Цель. Выявить взаимосвязь сухих функциональных смесей, их свойств от физико-химических показателей зернобобового сырья, а также влияние СФС на качество мучных кулинарных изделий. Объекты исследования: сырье, сухие функциональные смеси, помольные партии, свойства, мучные кулинарные изделия.

Материалы и методы. В работе использованы стандартные методы исследований. Использован микрометр для определения геометрических показателей зерна; набор сит при расसेве измельченных мучных компонентов и установлении гранулометрического состава; определение показателей качества зерна и полученной муки по ГОСТ 10840-64; ГОСТ 10987-76; ГОСТ 13586.5-93 и ГОСТ 8.434-81. Для исследований использовано сырье 2024 года. Зерновые и бобовые культуры выращены в Ростовской и Московской области.

Результаты. Определены функционально-технологические свойства сухих функциональных смесей (СФС): гранулометрический состав, степень измельчения; физико-химические показатели зернобобового сырья: геометрические параметры, форма зерновки. Подобраны состав и определена последовательность помола в технологической цепочке получения СФС. Оптимизированы ингредиенты СФС относительно сбалансированного аминокислотного состава. Для смеси 3/BC-2 они составляют, %: пшено – 24, крупа перловая – 12, чечевица – 26,3, полба – 11, овес – 6, горох – 23, семена кориандра – 0,3, душистый перец – 0,2, а для смеси 4ДС-3 подобраны следующие компоненты: полба – 5, пшено – 24, крупа перловая – 9, рожь – 9, гречиха – 37, горох – 15, душистый перец – 0,2). Степень измельчения СФС 224мкм.

Выводы. Полученные результаты могут быть использованы при производстве мучных кулинарных изделий в предприятиях общественного питания, а также на минипекарнях. Технологические свойства зернобобового сырья являются критериями для выбора схем помола и получения оптимального выхода порошкообразных сухих функциональных смесей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

помольные партии; геометрические размеры; зернобобовое сырье; драные и размольные системы



Для цитирования: Васюкова, А. Т., Кусова, И. У., & Мошкин, А. В. (2024). Исследование физико-химических свойств зернобобового сырья для получения сухих функциональных смесей. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 21–34. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s233>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s233>

Study of Physical and Chemical Properties of Grain Legume Raw Materials for Obtaining Dry Functional Mixtures

Anna T. Vasyukova¹, Irina U. Kusova¹, Aleksandr V. Moshkin²

¹ Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

² LLC "StarKhan"

Correspondence:

Anna T. Vasyukova,

Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia

E-mail: vasyukova-at@yandex.ru

Declaration of competing interest:

none declared.

Received: 23.09.2024

Received in revised form: 15.12.2024

Accepted: 17.12.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The use of protein-rich legumes together with grain raw materials and spices with increased biological value allows enriching products with bioavailable phenolic antioxidants and balancing the amino acid composition. The resulting dry functional mixtures will affect the basic physiological processes of the body and strengthen the immune system.

Purpose. To identify the relationship between dry functional mixtures, their properties and the physical and chemical indicators of grain legumes; to analyze raw materials, dry functional mixtures, grinding batches, properties.

Materials and Methods. Physical properties: the linear dimensions of the grains were determined using a micrometer with an accuracy of 0.01 mm; the grain nature was determined according to GOST 10840-64; grain vitreousness according to GOST 10987-76; grain and processed product moisture content according to GOST 13586.5-93 and GOST 8.434-81.

Results. The functional and technological properties of dry functional mixtures (DFM) were determined: granulometric composition, degree of grinding; physicochemical indicators of grain legume raw materials: geometric parameters, grain shape, uniformity in size, saturation of the finished product with biologically active substances. Developed by SPS %: 3BC-2 and 4ДC-3 (buckwheat – 37, peas – 15, millet – 24, pearl barley – 9, spelt – 5, rye – 9, allspice – 0.2). The degree of grinding of SFS is 132 µm. The yield of intermediate products of grinding of the presented two grinding batches of grain legume raw materials on five grain-forming torn and seven grinding systems is fractions of 157-250 µm.

Conclusions. The obtained results can be used in the production of flour culinary products in public catering establishments, as well as in mini-bakeries. The technological properties of grain legume raw materials are the criteria for choosing milling schemes and obtaining the optimal yield of powdered dry functional mixtures.

KEYWORDS

grinding batches; geometric dimensions; grain legume raw materials; break and grinding systems



To cite: Vasyukova, A. T., Kusova, I. U., & Moshkin, A. V (2024). Study of physical and chemical properties of grain legume raw materials for obtaining dry functional mixtures. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 21–34. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s233>

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к использованию в пищевых технологиях сырья с повышенной пищевой ценностью постоянно активизируется учеными и промышленностью. Важным аспектом того, что цельнозерновые и зернобобовые продукты обладают функциональными свойствами (Божко и соавт., 2020), является повышенное содержание в них полифенольных соединений, особенно флавоноидов, а также антиоксидантных свойств. Данные характеристики сырья целесообразно использовать при разработке зерномучных смесей, специализированного питания для спортсменов, включать в рационы людей с неинфекционными заболеваниями (Dhital et al., 2016; Graham et al., 2004; Hou et al., 2019; Jonnalagadda et al., 2010). Широкий ассортимент бобовых в виде сырья (крупы, мука, сухие смеси) и продуктов их переработки (пасты, пюре) представлен на российском и международном рынке, которые являются функциональными компонентами для продуктов длительного хранения (Jeong et al., 2018; Taranathan & Mahadevamma, 2003). Такие же предположения относятся и к зерновому сырью: гречихе, полбе, ржи, ячменю и овсу. Поэтому зерновые и бобовые в последнее время привлекают все больше внимания в качестве основного и дополнительного сырья, или биологически активных добавок (Глаголева и соавт., 2022).

Выпускаемые промышленным способом продукты массового спроса (хлеб, макаронные изделия, крупяные блюда) в основном имеют дефицит по лизину, они содержат много глюкозы и крахмала, а также загустителей, ароматизаторов, структурообразователей, позволяющих получить при варке мягкие и рыхлые лапшу или макароны, но в тоже время бедных на такие нутриенты, как белок, витамины, антиоксиданты, пищевые волокна. Отмечен дефицит сбалансированного аминокислотного состава и биологически активных веществ, потери которых в основном связаны с усовершенствованием производства и кулинарной обработки (Thakur, 2019; Meng et al., 2019).

Повысить пищевую ценность мучных и хлебобулочных изделий можно за счет использования в качестве ингредиентов бобовых культур. Например, горох повсеместно используется в технологиях приготовления супов, пюреобразных продуктов в разных азиатских странах (Nair et al., 2013). Известны популярные технологии использования бобовых культур при изготовлении мучных кулинарных изделий, которые обогащены резистентным крахмалом, полифенолами и антиоксидантами (Hou et al., 2019). Но наряду с его положительными качественными показателями (превосходит остальные культуры по отдельным аминокислотам) (Liu et al., 2018), он, как

и остальные бобовые, угнетает деятельность ЖКТ, вызывая метеоризм, газообразование за счет большого содержания клетчатки и сахаров, которые медленно перевариваются. Лектин и фитиновая кислота, содержащиеся в бобовых даже в незначительных количествах, вызывает, рвоту и тошноту. Поэтому использование бобовых возможно при определенных технологических режимах (гидротермическая обработка), что приводит к инактивации данных раздражителей ЖКТ. Возможны также и другие способы, позволяющие более эффективно применять бобовые в кулинарии. Для получения более дисперсных фракций муки, использовались некоторые методы обработки, такие как проращивание (Shi et al., 2016), экструзия (Meng et al., 2019) и обычное измельчение (Zhang et al., 2019).

Наряду с горохом, чечевица входит в комбинированные смеси для изготовления хлебобулочных изделий профилактической направленности (Чижилова и соавт., 2017). Ее семена отличаются повышенной концентрацией белка, Са и Mg, витаминами (β-каротин, РР, В₁, В₂, В₆) и пищевыми волокнами. В отличие от гороха и других бобовых вкус чечевицы более мягкий. Чечевица имеет приятную ароматную вкусовую гамму с пряными нотками, немного напоминающими фасоль. Это позволяет использовать данную бобовую культуру в широком спектре пищевых технологий.

Известна поликомпонентная пищевая добавка в десертные блюда (мусс), в которой полезные ингредиенты овощной фасоли используются в составе продукта, в виде структурообразователя, получаемого путем обработки смеси стручков овощной фасоли с зерном пшеницы (Куручкин & Новикова, 2023).

Одним из основных ингредиентов для диетических хлебобулочных продуктов выступает гречка (Косован и соавт., 2011). Поскольку содержание клейковины в гречневой муке невелико, поэтому она не используется в качестве основного компонента для приготовления хлебобулочных смесей и хлебобулочных изделий на их основе.

Полба — зерновая культура, из которой готовят каши (Санжаровская & Галинский, 2024)¹. Особенности ее качественных показателей связаны с агротехнологией: засухостойкостью, выращиванию на любых почвах. Она стабильна к различным болезням и стрессам (Санжаровская и соавт., 2018). Применение ее в качестве ингредиента для СФС может быть перспективно.

Многокомпонентные смеси используются не только для приготовления мучных кулинарных и хлебобулочных

¹ Санжаровская, Н. С., & Галинский, А. В. (2024). *Перспективы использования муки из зерна полбы в хлебопечении*. Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции. <http://rep.bsatu.by/bitstream/doc/18850/1/Sanzharovskaya-N-S-Perspektivy-ispolzovaniya-muki-iz-zerna-polby-v-hlebopechenii.pdf> Дата обращения 21.09.2024.

изделий, но и в кашах, сухих завтраках. Так, в качестве зерновых хлопьев применяют пшенные и рисовые хлопья, а в качестве растительного комплекса — смесь, включающую муку льняную, порошок моркови, кусочки сушеной тыквы и петрушку сушеную (Текутьева и соавт., 2015).

Для ведения технологического процесса производства мучных кулинарных изделий важным является создание структуры, тактильных свойств с выраженным флейвором, свойственным данной группе пищевых продуктов.

Для замены всех сухих компонентов сырьевого набора или части муки из злаков для мучных и хлебобулочных продуктов с целью придания, им полезных свойств бобового или нетрадиционного зернового сырья требуется отличная смешиваемость данных ингредиентов у получаемой мучной композиции (Муратбаев и соавт., 2015a). Помол является основным и широко используемым методом, который может в большей степени регулировать степень измельчения сырья и позволяет хорошо смешивать полученные ингредиенты (Meng et al., 2019; Муратбаев и соавт., 2015b). Уменьшение размера частичек измельченной в муку зерновой смеси является основной операцией процесса в различных отраслях промышленности и значительно влияет на химический состав (содержание золы, пищевых волокон, белка и крахмала) (Муратбаев и соавт., 2015b), а также на питательные, функциональные и технологические свойства (Boukid et al., 2019). Однако не всегда измельчаемое сырье имеет требуемые мукомольные характеристики и полученная мука (мучная смесь) обладает хлебопекарными свойствами.

Существует три основных метода помола: мокрый, полусухой и сухой помол. Из-за высоких затрат и экологических проблем часто используется метод сухого помола, а обычное оборудование для помола включает шаровые, молотковые, штифтовые, лопастные и струйные мельницы (Mahasukhonthachat et al., 2009). Различные типы мельниц и методы помола (Постникова и соавт., 2015) значительно влияют на физико-химические и функциональные свойства муки, такие как поврежденный крахмал, содержание полифенолов, набухаемость и качество клейковины (Lazaridou et al., 2018; Rao et al., 2016; Raza et al., 2019; Yu et al., 2018). Это в свою очередь будет иметь различное и не всегда положительное воздействие на качество готовой продукции из измельченного сырья. Кроме того, существующие публикации, связанные с помолом зернобобового сырья, разноречивы, имеют большой процент колебаний выхода муки и отрубей, их степень дисперсности. Недостаточно исследований, связанных с помолом некондиционного сырья.

Инновационные технологии помола сыпучих смесей используются в фармацевтической промышленности

(Lazaridou et al., 2018; Palavecino et al., 2019). Однако в разработке продуктов питания было достигнуто лишь несколько успехов. Вибрационное измельчение представляет собой высокоскоростную технологию измельчения, которая перерабатывает порошок в микрочастицы. Измельчение осуществляется в камере дробления путем резки, измельчения и трения между высокопрочными измельчающими стержнями. Кроме того, оно также имеет преимущества большой производительности помола зернобобового сырья и непрерывного производства. Недавние исследования в области пищевых систем были сосредоточены на измельчении муки из злаков и бобовых с использованием вибрационной мельницы и ее влиянии на свойства микронизированной муки из пророщенного коричневого риса (Lee et al., 2018), рожкового дерева (Tsatsaragkou et al., 2017), ячменя и ржи (Drakos et al., 2017), пшеницы (He et al., 2014; Lazaridou et al., 2018; Yu et al., 2018), copro (Palavecino et al., 2019), овсяных отрубей (Kurnia & Foster, 2018), нута (Raza et al., 2019), льняной муки (Типсина & Селезнева, 2015).

Установлено, полученные геометрические характеристики измельчаемого зерна, реологические и физико-химические показатели полученных муки и растительных порошков представляют интерес для создания многокомпонентной композиции применительно к пищевым системам.

Интересные результаты получены при измельчении зерна струйным диспергатором (Алексеев и соавт., 2017; Романчиков и соавт., 2017). Основным и самым важным требованием при использовании данной технологии является минимальное загрязнение измельчаемого сырья. Получаемые продукты помола — тонкие и сверхтонкие частички за счет высокочастотного удара в противоточной струйной камере (Романчиков и соавт., 2017).

Анализ полученной информации показывает, что созрели предпосылки к комплексной переработке растительных компонентов в существующей безотходной технологии получения специализированных продуктов, совершенному использованию зернового и бобового сырья, получению из него различных видов муки и СФС, что позволит расширить существующие представления о многокомпонентных пищевых системах, обладающих функциональными свойствами.

Однако в этом направлении опубликованы ограниченные исследования о сочетаемости зернового и бобового сырья в составе смеси, влиянии различных методов помола на физико-химические и функциональные свойства муки из маша, нута, риса, ячменя, овса, семян льна, сорго. Цель данного исследования заключается в выявлении взаимосвязи сухих функциональных смесей, их свойств от физико-химических показателей зернобобового сырья, а также влиянии СФС на качество

мучных кулинарных изделий. Задачи исследования: (1) научно обосновать состав сухой многокомпонентной смеси; (2) подобрать режимы помола и разработать схему измельчения 7–10 компонентов зернобобового сырья и пряно ароматических растений для создания СФС; (3) разработать рецептуры СФС для обогащения мучных кулинарных изделий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

При разработке рецептуры и технологии помола зернобобового сырья и пряно ароматических растений для создания СФС использовалась чечевица, горох, пшено, крупа перловая, полба, рожь, овес, гречиха, семена кориандра и душистый перец в соответствии с действующими нормативными документами: ГОСТ 9353–2016 Пшеница; ГОСТ 34702–2020. Пшеница хлебопекарная; ГОСТ ISO 24333 Зерно и продукты его переработки; СТО 46715365–002–2008. Бобовые (фасоль); ГОСТ 35050–2023. Маш; ГОСТ 7066–2019. Чечевица продовольственная; ГОСТ 5550–2021 Крупа гречневая; ТУ 9294–005–54844059–02. Крупа перловая; ГОСТ 572–2016. Межгосударственный стандарт крупа пшено шлифованное; СТО 21318887–004–2013. Полба, крупа цельнозерновая; ГОСТ Р 70794–2023. Семена овса голозерного; ГОСТ 16990–2017. Рожь (зерно); ГОСТ 29055–91. Пряности. Кориандр (семена); ГОСТ ISO 973–2016. Пряности. Перец душистый; ГОСТ Р 52809–2007. Мука ржаная хлебопекарная; ГОСТ Р 54731–2011. Дрожжи хлебопекарные прессованные; ГОСТ Р 51574–2018. Соль пищевая; СанПин 2.1.4.1074–01. Вода питьевая; ГОСТ 1129–2013. Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное; ГОСТ 33222–2015. Сахар белый.

Объектами исследований являлось сырье урожая 2024 года. Зерновые и бобовые культуры выращены в Ростовской и Московской области.

Свойства объектов исследования определяли по ГОСТ 10840–64; ГОСТ 10987–76; ГОСТ 13586.5–93 и ГОСТ 8.434–81. Аминокислотный состав определяли по МВИ.МН 1363–200. Метод по определению аминокислот в продуктах питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на жидкостном хроматографе Agilent 1200 (blueberrydry биотика VWD1A, длина волны 254–262 нм). Расчет пищевой ценности хлебобобовых изделий проводили в соответствии с ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» по методике ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности». Технологические

разработки осуществляли на основе ГОСТ 31691–2014 Услуги общественного питания. На основании данного нормативного документа проведена органолептическая оценка разработанных булочек «Триумф».

Математическую обработку выравненности зерна зернобобовых культур (среднее арифметическое, геометрическое и гармоническое, мм) осуществляли по формулам, предложенным Д.В. Лычагиным и О.Б. Переваловой (2008)².

Методом математического моделирования получено 2 варианта рецептур СФС. Разработаны сухие функциональные смеси 4/ДС-3 и 3/ВС-2, состоящие из 7–10 компонентов растительного сырья.

Методологической базой послужили труды отечественных ученых (Косован А.П., 2011; Алексеев Г. В., 2017; Романчиков С. А., 2017; Божко С.Д., 2020; Санжаровская Н.С., 2024; Курочкин А.А., 2023 и др.) и зарубежных авторов (Dhital S., 2016; Yu D., 2018; Boukid F., 2019; Hou D., 2019 и др.), а также собственные исследования, проведенные ранее (Васюкова А.Т., Сусликов А.В., 2001; Васюкова А.Т., Пучкова В.Ф., 2007–2010; Васюкова А.Т., Кусова И.У., Кандроков Р.Х., 2023–2024).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения максимального выхода муки из многокомпонентной системы надо определить выравненность геометрических размеров зернобобовых культур. В этой связи изучен химический состав и функциональные свойства растительного сырья, произведен анализ и выявлены показатели, являющиеся критериями при формировании помольных партий (Васюкова и соавт., 2001а; Васюкова и соавт., 2001б; Васюкова и соавт., 2002). Установлено, что основным критерием является выравненность зерна или семян по крупности. Высокая выравненность предполагает наличие в партии более 80 % крупных зерен и низкая, в случае от 50 до 60 % этих экземпляров. Выявление указанных критериев позволило обеспечить эффективность измельчения и получить СФС 4/ДС-3 и 3/ВС-2.

Вариационные кривые распределения линейных размеров различных видов зерна показаны на Рисунках 1–3.

Сравнительная характеристика геометрических показателей (длина и ширина, мм) исследуемой партии гороха (нут) приведена на Рисунке 1.

² Лычагин, Д. В., & Перевалова, О. Б. (2008). *Определение размера зерна поликристаллов: методические указания к лабораторной работе*. Издательство Томского государственного архитектурно-строительного университета.

Рисунок 1
Вариационные кривые распределения линейных размеров зерна гороха
Figure 1
Variation Curves of Distribution of Pea Grain Linear Sizes

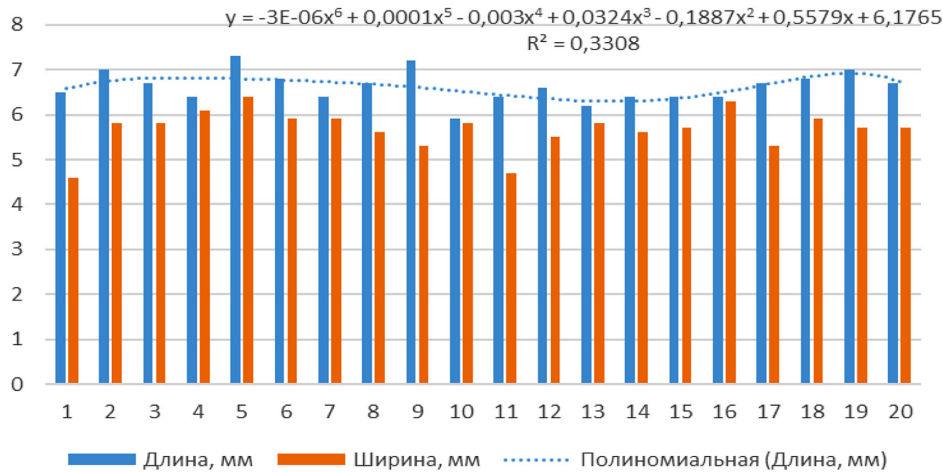
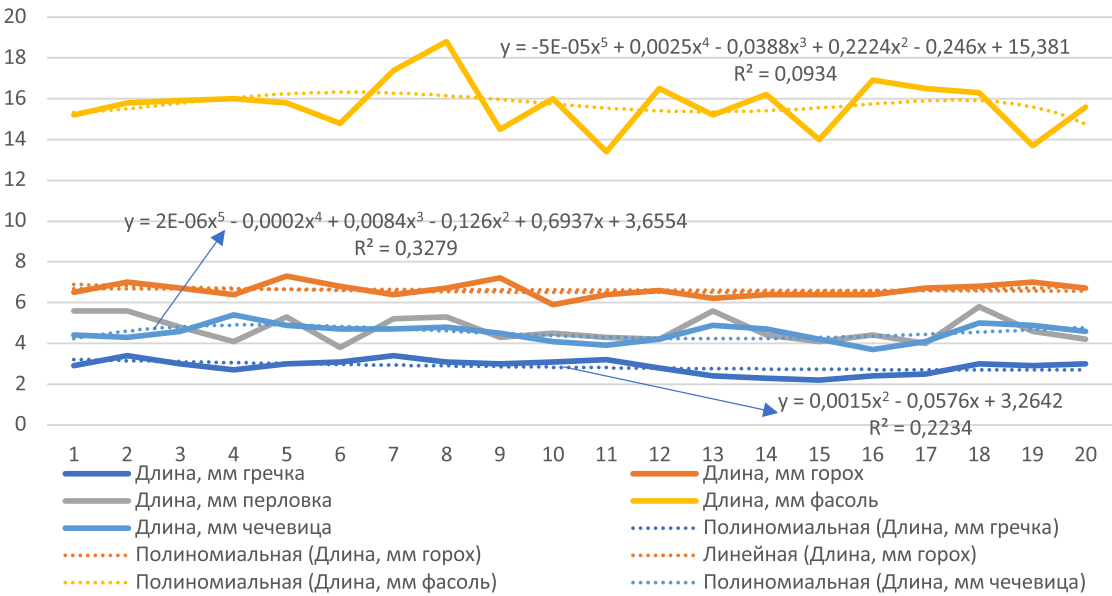


Рисунок 2
Вариационные кривые распределения длины зерна бобовых и зерновых культур: горох, фасоль, чечевица и гречка с перловкой
Figure 2
Variation Curves of Grain Length Distribution of Legumes and Cereal Crops: Peas, Beans, Lentils and Buckwheat with Pearl Barley



Геометрические показатели зерен гороха (длины, мм) писаны следующей математической зависимостью:

$Y = -3E - 0,6x^6 + 0,0001x^5 - 0,003x^4 + 0,0324x^3 - 0,1887x^2 + 0,5579x + 6,1765$

Основываясь на установленной полиномиальной зависимости длины зерен при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,3308$ выравнивание все же данного сырья высокая и составляет 85 %.

Для более оперативного исследования полученных результатов замеров геометрических показателей зерновых и бобовых культур и их наглядности приведены графики вариационных кривых распределения отдельно длины зерна бобовых и зерновых культур (Рисунок 2)

и ширины (Рисунок 3) и установлены соответствующие зависимости.

Геометрические показатели зерен фасоли (длины, мм) писаны следующей математической формулой:

$$y = -5E - 0,5x^5 + 0,0025x^4 - 0,0388x^3 + 0,2224x^2 - 0,246x + 15,381,$$

характеризующей полиномиальную зависимость длины зерен фасоли при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,0934$. Полученная математическая зависимость подчеркивает недостаточную выравненность зерен фасоли, которая составляет 63 %. Разброс показателей длины зерен данной культуры находится в пределах от +1,5 до -0,8 относительно среднестатистических данных.

Геометрические показатели зерен чечевицы (длины, мм) писаны следующей математической формулой:

$$y = 2E - 0,6x^5 - 0,0002x^4 + 0,0084x^3 - 0,126x^2 + 0,6937x + 3,6554,$$

характеризующей полиномиальную зависимость длины зерен чечевицы при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,3279$. Выравненность данного зерна высокая.

Показатели длины гречки среди зерен исследуемой партии описаны математической зависимостью — полиномиальной:

$$y = 0,0015x^2 - 0,0576x + 3,2642,$$

при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,2234$. Выравненность данного зерна высокая.

Полученные зависимости выравненности ширины зерна бобовых и зерновых культур: фасоль, чечевица и гречка с перловкой описаны полиномиальными уравнениями, имеющими следующий вид:

— для фасоли:

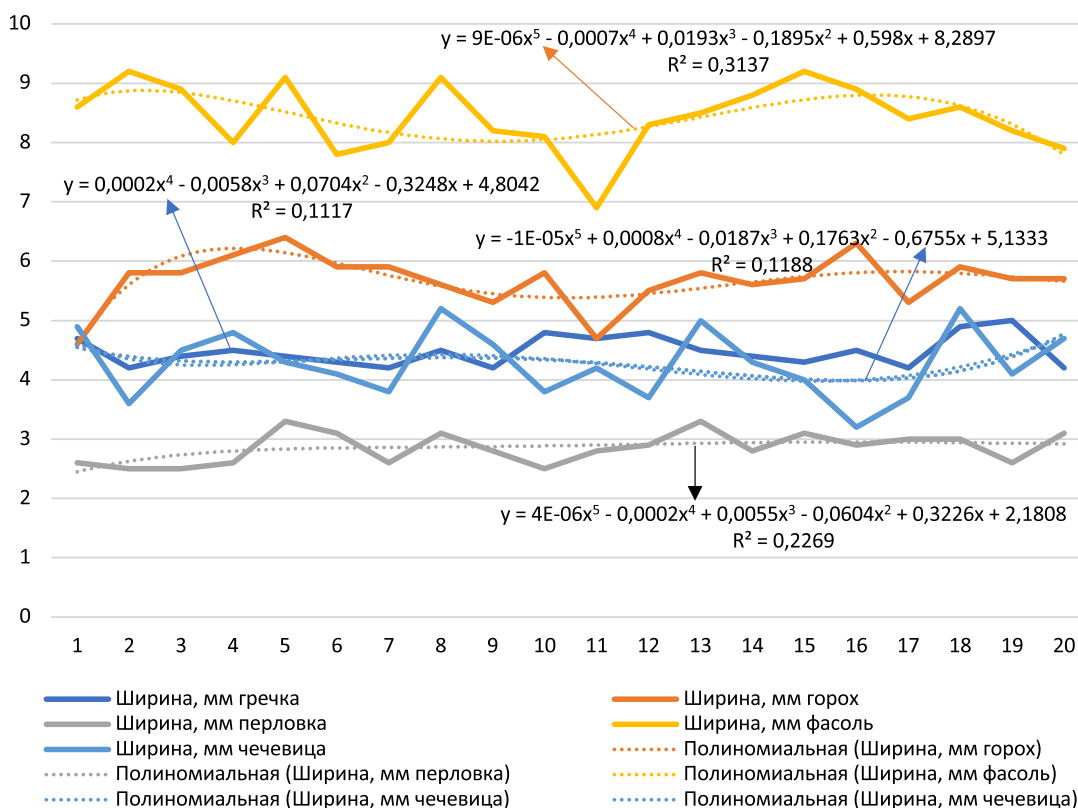
$$y = 9E - 0,6x^5 - 0,0002x^4 + 0,0193x^3 - 0,1895x^2 + 0,598x + 4,8042,$$

Рисунок 3

Вариационные кривые распределения ширины зерна бобовых и зерновых культур: горох, фасоль, чечевица и гречка с перловкой

Figure 3

Variation Curves of Grain Width Distribution of Legumes and Cereal Crops: Peas, Beans, Lentils and Buckwheat with Pearl Barley



при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,3137$.
Выравненность данного зерна высокая.

— для зерен гречки:

$$y = 0,0002x^4 - 0,0058x^3 + 0,0704x^2 - 0,2348x + 8,2897,$$

при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,1117$.
Выравненность данного зерна недостаточно высокая.

— для чечевицы:

$$y = -1E - 0,5x^5 + 0,0008x^4 - 0,01878x^3 + 0,1763x^2 - 0,6755x + 5,1333,$$

при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,1188$.
Выравненность данного зерна недостаточно высокая.

— для перловки:

$$y = 4E - 0,6x^5 - 0,0004x^4 + 0,0055x^3 - 0,0604x^2 + 0,3226x + 2,1808,$$

при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,2269$.
Выравненность данного зерна высокая.

Таким образом, динамика изменений длины и ширины зерна видна на основании вариационных кривых, приведенных на Рисунке 1 для гороха и Рисунке 2 и 3 для гречки, перловки, чечевицы, фасоли и для сравнения — гороха. Засушливое лето на юге России сказалось на выравненности размерных и весовых характеристик используемого сырья. Было в наличии щупло и плохо выполненное зерно (2–4 %), отдельные экземпляры бобовых деформированы, сморщены (1–2 %). Наибольшие отклонения отмечены по длине в исследуемых образцах. Наиболее однородными являются показатели ширины. Это говорит о том, что на разрезе зерно приближается к окружности.

Таким образом, установлено влияние климатических и региональных условий на геометрические размеры внутри вида и между различными культурами.

Оценка размерных характеристик зернобобовых культур приведена в Таблице 1.

Полученные значения отклонений внутри одного вида зерновой или бобовой культуры позволяют установить влияние геометрических размеров на качество муки. Процесс помола показал, что стекловидное ядро зерна, особенно бобовых культур, достаточно прочное и лучше вымалывается, чем с низко стекловидным ядром.

Исследуемые геометрические характеристики и дополняющая их масса 1000 зерен, обосновывают показатель

Таблица 1
Отклонение размеров зерна исследуемых культур от среднего показателя данного сорта

Вид математического отклонения	Наименование образцов	
	гречка	горох (нут)
	отклонения по длине	
Среднее арифметическое, мм	4,60 ± 0,01	6,61 ± 0,04
Среднее геометрическое, мм	5,04 ± 0,07	6,56 ± 0,10
Среднее гармоническое, мм	4,57 ± 0,03	6,51 ± 0,02
	отклонения по ширине	
	Среднее арифметическое, мм	2,80 ± 0,02
	Среднее геометрическое, мм	2,73 ± 0,03
	Среднее гармоническое, мм	2,68 ± 0,01

выравненности. Высокая масса отмечена у фасоли и гороха, а остальные образцы (перловка и чечевица) имеют невысокую массу и соответственно различную выравненность.

Натура, наряду с другими показателями качества, является важным критерием оценки технологических и мукомольных свойств зерна. Полученные значения натуры пяти образцов зернобобовых культур неодинаковые. Высокие показатели натуры у бобовых объясняются выполненностью зерна. Перловка, чечевица и гречка имеют различную выполненность, что указывает на их раздельное измельчение при осуществлении помола многокомпонентной помольной смеси.

Полученные значения выравненности и крупности зерна имеют большие колебания между видами зерновых и бобовых культур, что при изготовлении помольных партий многокомпонентных систем требует фракционирования. Целесообразность осуществления данного процесса на решетных ситах с круглыми отверстиями. Это обеспечит лучшее фракционирование и эффективное использование полученных оптимальных размерных характеристик измельчаемого сырья.

На основании проведенных исследований по выравненности партий зерна, его физических особенностей для помола от 7 до 10 наименований сырья и получения сбалансированной по аминокислотному составу смеси 4/ДС-3, состоящей из крупы гречневой в количестве 37,9 %, пшена шлифованного в количестве 24,0 %, гороха в количестве 15,0 %, крупы перловой в количестве 9,0 %, зерна ржи в количестве 9,0 %, зерна полбы в количестве 5,0 %, душистого перца в количестве 0,1 %, необходимо помольную смесь последовательно измельчать на 3-х

дробильных системах с частотой вращения молотков в 3000 об/мин. Затем измельчение продолжается на 3-х последовательных размольных системах. Используются вальцовые станки с расположением рифлей спинка по спинке со скоростью вращения быстрого вальца 6,0 м/с. При помоле необходимо регулировать соотношение круговых скоростей быстро- и медленно вращающихся вальцов 2,5, при этом плотностью нарезки вальцов от 8 штук на 1 см, с уклоном рифлей 11 %. Помол заканчивается сортированием продуктов размола и высеиванием СФС на ситах с ячейками в 224 мкм.

На основании проведенных исследований по выравниванию партий зерна, его анатомических характеристик и получения сбалансированной по аминокислотному составу СФС 3/ВС-2, состоящей из 26,3 % чечевицы, 24,9 % пшеницы, 23 % гороха, 12 % перловой крупы, 6 % овса, 11 % полбы, 0,2 % перца душистого и 0,3 % семян кориандра разработана схема размола многокомпонентной смеси 3/ВС-2, показанная на Рисунке 5.

Рецептуры функциональной мучной смеси 4/ДС-3 и 3/ВС-2 приведены в Таблице 2.

Проходом сит с ячейками 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 27,3 %, а сходовый продукт поступает на молотковую дробилку 2-ой дробильной системы. После измельчения сходового продукта на 2-ой дробильной системе и просеивания на расходе проходом сита с но-

минальным размером отверстий ячеек в 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 25,6 %, а сходовый продукт поступает на молотковую дробилку 3-ой дробильной системы.

После измельчения и просеивания на расходе проходом сита с номинальным размером отверстий ячеек в 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 19,0 %, а сходовый продукт поступает на вальцовый станок 1-ой размольной системы. После измельчения сходового продукта на 1-ой размольной системе проходом сита с номинальным размером отверстий ячеек в 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 11,7 %, а сходовый продукт поступает на вальцовый станок 2-ой размольной системы. После измельчения сходового продукта на 2-ой размольной системе проходом сита с номинальным размером отверстий ячеек в 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 7,2 %, а сходовый продукт поступает на вальцовый станок 3-й размольной системы. После измельчения сходового продукта на 3-ой размольной системе проходом сита с номинальным размером отверстий ячеек в 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 5,1 %, а сходовый продукт в количестве 4,9 % поступает в бункер для отрубей.

Общий выход многокомпонентной функциональной мучной смеси 4/ДС-3 составил 94,9 %, что свидетельствует о высокой эффективности разработанной технологии для получения цельнозерновой муки.

В такой же последовательности осуществлен помол многокомпонентной смеси 3/ВС-2 с получением цельнозерновой муки. Общий выход функциональной мучной смеси 3/ВС-2 составил 93,8 %.

Таким образом, размол многокомпонентного состава зерновых, бобовых культур и пряно-ароматического сырья осуществлен на агрегате РСА-4-2 для выработки в производственных условиях мукомольного предприятия функциональной мучной смеси.

Полученная смесь 4/ДС-3 по пищевой и биологической ценности по отдельным нутриентам превосходит пшеничную муку (Таблице 3).

Качественные характеристики сухой функциональной смеси 3/ВС-2 по пищевой и биологической ценности по отдельным нутриентам лучше пшеничной муки, а по стоимости даже дешевле пшеничной муки высшего сорта (Таблице 4).

Таблица 2

Рецептуры сухих функциональных смесей 4/ДС-3 и 3/ВС-2 для мучных изделий в г на 100 г продукта

Table 2

Recipes for Dry Functional Mixtures 4/DS-3 and 3/VS-2 for Flour Products in g per 100 g of Product

Наименование компонентов рецептуры	СФС, г	
	4/ДС-3	3/ВС-2
Крупа гречневая	37,9 ± 0,01	0,0
Чечевица	0,0	26,3 ± 0,02
Крупа пшено шлифованное	24,0 ± 0,03	24,9 ± 0,01
Крупа гороховая	15,0 ± 0,05	23,0 ± 0,02
Крупа перловая	9,0 ± 0,02	12,0 ± 0,04
Овес	0,0	6,0 ± 0,02
Рожь	9,0 ± 0,03	0,0
Полба	5,0 ± 0,04	11,0 ± 0,01
Перец душистый, молотый	0,1 ± 0,01	0,2 ± 0,05
Кориандр, семена	0,0	0,3 ± 0,01
Итого	100	

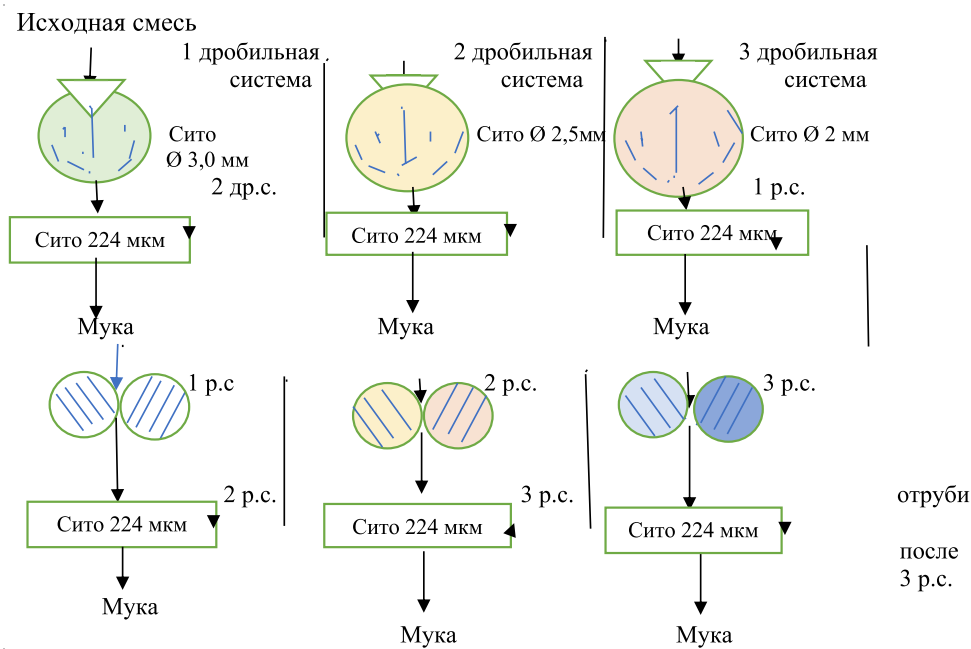
Таблица 3
Аминокислотный состав на 100 г продуктов, г
Table 3
Amino Acid Composition per 100 g of Products, g

Продукт	Три	Тре	Изо	Лей	Лиз	Мет	Цис	Фен	Тир	Вал	Гис	НАК
4/ДС-3	0,168	0,468	0,515	1,067	0,613	0,198	0,224	0,621	0,337	0,655	0,309	5,175
мука пшеничная	0,113	0,264	0,327	0,627	0,260	0,150	0,243	0,399	0,127	0,390	0,197	3,097
Аминокислотный состав рецептуры (мг), с учетом усвояемости белка												
Итого в 4/ДС-3	79	241	245	490	288	122	65	331	180	332	136	2508
На 1 г белка	9,7	29,3	29,8	59,7	35,1	14,8	7,9	40,3	21,9	40,5	16,5	306

Таблица 4
Аминокислотный состав на 100 г продуктов, г
Table 4
Amino Acid Composition per 100 g of Products, g

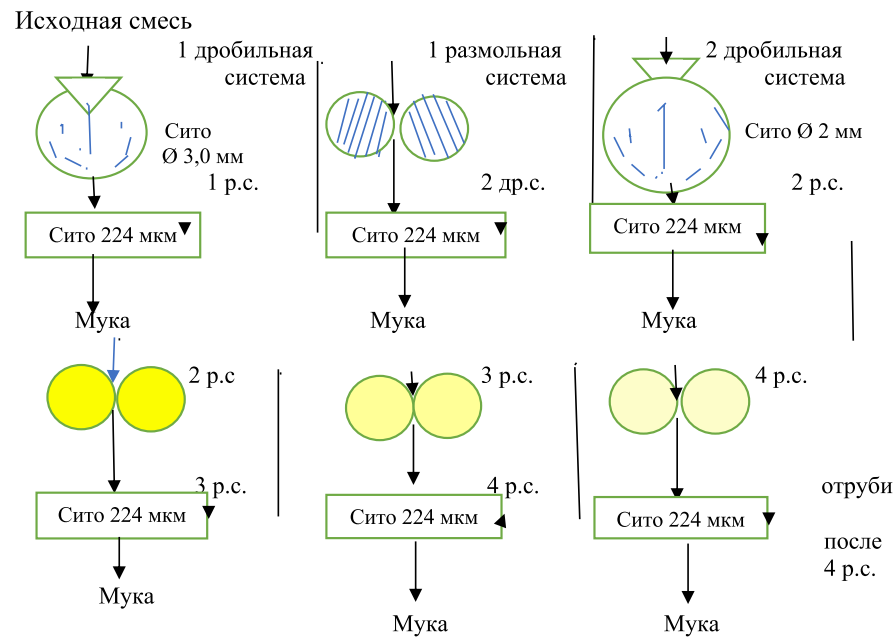
Продукт	Три	Тре	Изо	Лей	Лиз	Мет	Цис	Фен	Тир	Вал	Гис	НАК
3/ВС-2	0,115	0,346	0,415	0,797	0,518	0,144	0,186	0,511	0,294	0,506	0,251	4,0858
мука пшеничная	0,113	0,264	0,327	0,627	0,260	0,150	0,243	0,399	0,127	0,390	0,197	3,097
Аминокислотный состав рецептуры (мг), с учетом усвояемости белка												
Итого в 3/ВС-2	192	621	746	1 430	1 016	226	297	890	510	886	453	7267
На 1 г белка	10,8	34,9	42,0	80,5	57,2	12,7	16,7	50,1	28,7	49,9	25,5	409

Рисунок 4
Схема размола многокомпонентной функциональной мучной смеси 4/ДС-3
Figure 4
Scheme of Grinding Multi-Component Functional Flour Mixture 4/DS-3



Примечание: др.с. — дробильная система; р.с. — размольная система
Note: др.с. — crushing system; р.с. — grinding system

Рисунок 5
Схема размола многокомпонентной функциональной мучной смеси 3/BC-2
Figure 5
Scheme of Grinding Multi-Component Functional Flour Mixture 3/BC-2



Примечание: др.с. — дробильная система; п.с. — размольная система
Note: др.с. — crushing system; п.с. — grinding system

Схема размола многокомпонентной смеси 4/ДС-3 показана на Рисунке 4.

Способ получения многокомпонентной функциональной мучной смеси 3/BC-2 показан на Рисунке 5.

Разработанная технология измельчения многокомпонентных смесей на основе зерновых, бобовых культур и пряно-ароматического сырья может быть использована на фермерских хозяйствах, мукомольных предприятиях.

Полученные СФС использовали в рецептурах булочек «Триумф». В рецептурах использовалась пшеничная мука с влажностью 14,5 %. Введение СФС осуществлялось с целью повышения биологической ценности изделий. Активация дрожжевых клеток смесями 4 ДС/3 и 3 ВС/2 способствует повышению эффективности данного технологического приема: подъемная сила дрожжей улучшается на 10,21 %. Модельный опыт включал замену пшеничной муки на СФС в количестве 15–20 % (Таблица 5).

При приготовлении дрожжевого теста по модельной рецептуре проведено определение исходных параметров для корректирования технологического процесса. Показатели функционально-технологических свойств основ-

Таблица 5
Модельные рецептуры дрожжевого теста для булочек, г
Table 5
Model Recipes of Yeast Dough for Buns, g

Наименование сырья	1 об-разец	2 об-разец	3 об-разец	4 об-разец	Контрольный
Мука пшеничная	35	40	40	35	40
Сахар белый	7	7	7	7	7
Масло растительное	9	9	9	9	9
Яйцо (меланж)	4	4	4	4	4
Соль	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Дрожжи	2	2	2	2	2
Вода	20	20	20	20	20
4 ДС/3	20	—	—	—	—
3 ВС/2	—	15	—	—	—
4 ДС/3	—	—	15	—	—
3 ВС/2	—	—	—	20	—
Масса полуфабриката	95	95	95	95	80
Выход:	76,0	76,1	75,8	75,5	74

ного и дополнительного сырья, влияющие на качество булочек из обогащенного дрожжевого теста отмечены в процессе дегустации. Установлено, что максимальное количество СФС без ухудшения функционально-технологических свойств составляет 20 % для двух смесей: 4/ДС-3 и 3/ВС-2. Увеличение концентрации СФС приводит к изменению цвета, пористости, внешнего вида, черствению.

Разработанные функциональные мучные смеси 4/ДС-3 и 3/ВС-2 могут быть использованы для улучшения потребительских свойств и расширения ассортимента мучных кулинарных изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтвердили гипотезу о возможности размола многокомпонентного состава зерновых, бобовых культур и пряно-ароматического сырья на агрегате РСА-4–2 для выработки в производственных условиях мукомольного предприятия функциональной мучной смеси. Проанализированы физико-химические свойства цельнозерновой муки из данного сырья.

Получены сухие функциональные смеси 4/ДС-3 и 3/ВС-2, состоящие из чечевицы, гороха, пшена, крупы перловой, полбы, ржи, овса, гречихи, семян кориандра и душистого перца, степень измельчения которых составила 224 мкм и выход муки от 93,8 до 94,9 %.

Разработанные сухие функциональные смеси 4/ДС-3 и 3/ВС-2 имеют высокую биологическую ценность. Они

превосходят муку пшеничную по содержанию треонина, изолейцина, лейцина, лизина, фенилаланина, тирозина, валина, гистидина и общей концентрации незаменимых аминокислот (НАК) в пределах от 26,9 до 31,0 %

Разработанные схемы помола многокомпонентных зерновых смесей с использованием агрегата РСА-4–2 могут осуществляться на мукомольных предприятиях пищевой промышленности и миницехах.

ОПИСАНИЕ АВТОРСКОГО ВКЛАДА

Васюкова А.Т.: концептуализация; методология, ресурсы, создание рукописи и ее редактирование.

Кусова И. У.: верификация данных, создание рукописи и ее редактирование.

Мошкин А. В.: анализ, разработка и получение исследуемого материала, проведение исследований.

AUTHORS CONTRIBUTION STATEMENT:

Anna T. Vasyukova: conceptualization, methodology, resources, writing — review and editing

Irina U. Kusova: validation, writing — review and editing

Aleksandr V. Moshkin: formal analysis, resources, investigation

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCE

Алексеев, Г. В., Пальчиков, А. Н., Карпачев, В. Н., & Золотарева, А. А. (2017). Патент РФ на полезную модель № 170192. Струйный диспергатор пищевых добавок Университет ИТМО; № 2016144539.

Alekseev, G. V., Palchikov, A. N., Karpachev, V. N., & Zolotareva, A. A. (2017). Russian Federation Patent for Utility Model No. 170192. Jet disperser of food additives ITMO University; No. 2016144539. (In Russ.)

Божко, С. Д., Ершова, Т. А., Чернышева, А. Н., & Черногор, А. М. (2020). Бобовые культуры — перспективное сырье для пищевой промышленности. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, (2), 59–64. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10043>

Bozhko S.D., Ershova T.A., Chernysheva A.N., Chernogor A.M. (2020) Legumes are a promising raw material for the food

industry. *Technologies for the food and processing industry of AIC — healthy food*, (2), 59–64. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10043> (In Russ.)

Васюкова, А. Т., Сусликов, А. В., & Филипенко, Т. А. (2001а). Исследование влияния качества измельчения зерна и выхода муки на свойства хлебобулочных изделий. В *Сборнике трудов ДонГУЭТ* (с. 103–107).

Vasyukova, A. T., Suslikov, A. V., & Filipenko, T. A. (2001a). Study of the influence of grain grinding quality and flour yield on the properties of bakery products. In *Collection of works of DonSUET* (p. 103–107). (In Russ.)

Васюкова, А. Т., Сусликов, А. В., Ярошева, А. И., & Макаренко, Л. И. (2001б). Исследование влияния качества измельчения зерна и выхода муки на свойства хлебобулочных изделий. В *Сборнике трудов ПКИ* (с. 68–71).

- Vasyukova, A. T., Suslikov, A. V., Yarosheva, A. I., & Makarenko, L. I. (2016). Study of the influence of grain grinding quality and flour yield on the properties of bakery products. In *Collection of works of PKI* (p. 68–71). (In Russ.)
- Васюкова, А. Т., Ключев, Б. Н., Корнейко, А. А., Моргунов, В. А., Сусликов, А. В., & Ярошева, А. И. (2002). *Нетрадиционные технологии переработки и использования зерновых культур*. Донбасс.
- Vasyukova, A. T., Klyuzov, B. N., Korneiko, A. A., Morgun, V. A., Suslikov, A. V., & Yarosheva, A. I. (2002). *Non-traditional technologies for processing and using grain crops*. Donbass. (In Russ.)
- Глаголева, Л. Е., Зацепилина, Н. П., Ковалева, Е. Н., & Санберг, А. В. (2022). Рецептурно-технологические решения сухой смеси с заданными функциональными свойствами. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, (2), 25–28. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-2-25-31>
- Glagoleva, L. E., Zatsopilina, N. P., Kovaleva, E. N., & Sanberg, A. V. (2022) Formulation and technological solutions for a dry mix with specified functional properties // *Technologies for the food and processing industry of AIC — healthy food*, (2), 25–28. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-2-25-31> (In Russ.)
- Косован, А. П., Шлеленко, Л. А., Тюрина, О. Е., & Шарафетдинова, Х. Х. (2011). Патент РФ № 2434438С1 Смесь диабетическая для хлебобулочных изделий с использованием гречневой муки (варианты). ГНУ ГОСНИИХП Россельхозакадемии.
- Kosovan, A. P., Shlelenko, L. A., Tyurina, O. E., & Sharafetdinova, H. H. (2011). Russian Federation Patent No. 2434438C1 Diabetic mixture for bakery products using buckwheat flour (variants). State Scientific Institution State Research Institute of Bakery Products of the Russian Agricultural Academy. (In Russ.)
- Курочкин, А. А., & Новикова, О. А. (2023). Поликомпонентная пищевая добавка на основе овощной фасоли. *Инновационная техника и технология*, 10(2), 19–24.
- Kurochkin, A. A., & Novikova, O. A. (2023). Multicomponent food additive based on vegetable beans. *Innovative Machinery and Technology*, 10(2), 19–24. (In Russ.)
- Муратбаев, А. М., Асенова, Б. К., Нурумхан, Г. Н., & Арпнова, Э. Ж. (2015а). Исследование композитной муки. *Вестник ГУ имени Шакарима города Семей*, 4(72), 42–46.
- Muratbaev, A. M., Asenova, B. K., Nurumkhan, G. N., & Arpnova, E. Zh. (2015a). Study of composite flour. *Bulletin of the Shakarim State University of Semey*, 4(72), 42–46 (In Russ.)
- Муратбаев, А. М., Асенова, Б. К., Касымов, С. К., Нурымхан, Г. Н., & Нургазезова, А. Н. (2015б). Обогащение муки зерновыми культурами. В *Пища и экология качество*, 1, (с. 638–642).
- Muratbaev, A. M., Asenova, B. K., Kasymov, S. K., Nurymkhan, G. N., & Nurgazezova, A. N. (2015). Enrichment of flour with grain crops. In *Food and ecology quality*, 1, (p. 638–642). (In Russ.)
- Постникова, И. В., Блиничев, В. Н., & Кравчик, Я. (2015) Струйные мельницы. Современные наукоемкие технологии. *Региональное приложение*, (2(42)), 144–146.
- Postnikova, I. V., Blinichev, V. N., & Kravchik, Ya. (2015). Jet mills. *Modern science-intensive technologies. Regional supplement*, (2(42)), 44–146. (In Russ.)
- Романчиков, С. А., Алексеев, Г. В., Лей, А. Г., & Карпачев, Д. В. (2017). Измельчение пищевого сырья нетрадиционными способами. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (9), 24–29.
- Romanchikov, S. A., Alekseev, G. V., Leu, A. G., & Karpachev, D. V. (2017). Grinding food raw materials by non-traditional methods. *Storage and processing of farm products*, (9), 24–29. (In Russ.)
- Санжаровская, Н. С., Сокол, Н. В., Храпко, О. П., Мамедов, К. С., & Романова, Н. Н. (2018). Хлебопекарные свойства композитных смесей муки из зерна пшеницы и полбы. *Новые технологии / New technologies*, (3), 60–65.
- Sanzharovskaya, N. S., Sokol, N. V., Khrapko, O. P., Mamedov, K. S., & Romanova, N. N. (2018). Bakery properties of composite mixtures of wheat and spelt flour. *New Technologies*, (3), 60–65. (In Russ.)
- Текутьева, Л. А., Ершова, Т. А., Божко, С. Д., Сон, О. М., & Фищенко, Е. С. (2015). Патент РФ № 2562221С1. Состав каши быстрого приготовления. Дальневосточный Федеральный Университет (ДФУ).
- Tekutyeva, L. A., Ershova, T. A., Bozhko, S. D., Son, O. M., & Fishchenko, E. S. (2015). Russian Federation Patent No. 2562221C1. Composition of instant porridge. Far Eastern Federal University (FEFU). (In Russ.)
- Типсина, Н. Н., & Селезнева, Г. К. (2015). Льняная мука как биологически активная пищевая добавка. *Вестник КрасГАУ*, (3), 57–58.
- Tipsina, H. N. (2015). Flaxseed flour as a biologically active food additive. *Vestnik KrasSAU*, (3), 57–58. (In Russ.)
- Чижикова, О. Г., Коршенко, Л. О., & Павлова, М. А. (2017). Разработка композитных мучных смесей с использованием измельченных семян чечевицы. *Техника и технология пищевых производств*, 46(3), 89–94.
- Chizhikova, O. G., Korshenko, L. O., & Pavlova, M. A. (2017). Development of composite flour mixtures using crushed lentil seeds. *Food Processing: Techniques and Technology* 46(3), 89–94. (In Russ.)
- Boukid, F., Vittadini, E., Lusuardi, F., Ganino, T., Carini, E., Morreale, F., & Pellegrini, N. (2019). Does cell wall integrity in legume flour affect the physicochemical quality and in vitro starch hydrolysis of gluten-free bread? *Journal of Functional Foods*, 59, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.05.034>
- Yu, D., Chen, Y. D., Ma, J., Sun, H., Yuan, Yu., Ju, Q., Teng, Yu., Yang, M., Li, W., Fujita, K., Tatsumi, E., & Luan, G. (2018). Effect of different milling methods on the physicochemical properties

- of common buckwheat flour. *LWT*, 92, 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.033>
- Dhital, S., Bhattarai, R. R., Gorham, J., & Gidley, M. J. (2016). Intact cell wall structure controls in vitro starch digestion in legumes. *Food & Function*, 7, 1367–1379. <https://doi.org/10.1039/C5FO01104C>
- Drakos, A., Kyriakakis, G., Evageliou, V., Protonotariou, S., Mandala, I., & Ritzoulis, C. (2017). Effect of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flour. *Food Chemistry*, 215, 326–332. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.169>
- He, S., Qin, Y., Walid, E., Li, L., Cui, J., & Ma, Y. (2014) The influence of ball milling on the physicochemical properties of corn starch. *Biotechnology Reports*, 3, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.06.004>
- Hou, D., Yousaf, L., Xue, Y., Hu, J., Wu, J., Hu, X., Feng, N., & Shen, Q. (2019). Mung bean (*Vigna radiata* L.): Bioactive polyphenols, polysaccharides, peptides, and health benefits. *Nutrients*, 11(6), 1238. <https://doi.org/10.3390/nu11061238>
- Jeong, D., Han, J. A., Liu, Q., & Chung, H. J. (2019) Effect of processing, storage and modification on in vitro starch digestion characteristics of legumes: a review. *Food Hydrocolloids*, 90, 367–376. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.039>
- Jonnalagadda, S. S., Harnack, L., Hai Liu, R., McKeown, N., Seal, C., Liu, S., & Fahey, G. C. (2011). Putting the whole grain puzzle together: Health benefits associated with whole grains – Summary of the 2010 American Society of Nutrition Satellite Symposium. *Journal of Nutrition*, 141, 1011S–1022S. <https://doi.org/10.3945/jn.110.132944>
- Kurnia, R., & Foster, T. J. (2018). Effect of ball milling on the structural, thermal and rheological properties of oat bran protein flour. *Journal of Food Engineering*, 229, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.024>
- Lazaridou, A., Vouris, D. G., Zoumpoulakis, P., & Biliaderis, C. G. (2018). Physicochemical properties of flour and dough from jet flour from wheat. *Food Hydrocolloids*, 80, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.044>
- Lee, Y. T., Shim, M. J., Goh, H. K., Mok, C., & Puligundla, P. (2018). Effect of jet milling on the physicochemical properties, gelatinization properties and starch digestibility in vitro of germinated brown rice flour. *Food Chemistry*, 282, 164–168. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.07.179>
- Liu, Yi., Xiu, M., Wu, H., Jing, L., Gong, B., Gou, M., Zhao, K., & Li, W. (2018). Compositional, physicochemical and functional properties of sprouted mung bean flour and its addition to the quality of wheat flour noodles. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 5142–5152. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3460-z>
- Mahasukhonthachai, K., Sopade, P. A., & Gidley, M. J. (2009). Particle size-dependent kinetics of starch digestion in sorghum. *Journal of Food Engineering*, 96, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.051>
- Meng, Yi, Guan, H., Liu, H., & Zhang, H. (2019). Rheology and microstructure of composite wheat dough enriched with extruded mung bean flour. *LWT*, 109, 378–86. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.095>
- Nair, R. M., Yang, R. Y., Easdown, W. J., Thavarajah, D., Thavarajah, P., Hughes, J. D. A., & Keatinge, J. D. H. (2013). Biofortification of mung bean (*Vigna radiata*) as a whole food for improving human health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 1805–1813. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6110>
- Palavecino, P. M., Penci, M. K., & Ribotta, P. D. (2019). Effect of planetary ball milling on the physicochemical and morphological properties of sorghum flour. *Journal of Food Engineering*, 262, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.007>
- Rao, B. D., Anis, M., Kalpana, K., Sunoj, K.V., Patil, J.V., & Ganesh, T. (2016). Effect of milling methods and particle size on hydration properties of sorghum flour and quality of sorghum biscuits. *LWT – Food Science and Technology*, 67, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.033>
- Raza, H., Ameer, K., Zaaboul, F., Sharif, H. R., Ali, B., Shoaib, M., Akhtar, W., & Zhang, L. (2019). Effect of ball milling on physicochemical, thermal and functional properties of extruded chickpea powder (*Cicer arietinum* L.). *CyTA – Journal of Food*, 17, 563–573. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1617352>
- Shi, Z., Yao, Y., Zhu, & Ren, G. (2016). Nutritional composition and antioxidant activity of twenty mung bean cultivars in China. *Crop Journal*, 4, 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.011>
- Taranathan, R. N., & Mahadevamma, S. (2003). Pulses – A boon to human nutrition. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 507–518. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.002>
- Thakur, S., Scanlon, M. G., Tyler, R. T., Milani, A., & Paliwal, J. (2019). Miller's characteristics of bean flour: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 775–97. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12413>
- Tsatsaragkou, K., Kara, T., Ritzoulis, C., Mandala, I., & Rosell, C.M. (2017). Improving the characteristics of carob flour for the production of gluten-free bread by particle size fractionation and jet milling. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 831–841. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1863-x>
- Zhang, K., Dai, Y., Hou, H., Li, H., Dong, H., Wang, W., & Zhand, H. (2019). Effect of milling on the structure and properties of mung bean starch and the quality of acetylated starch. *Food Chemistry*, 294, 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.055>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s215>

УДК 579.22, 663.1, 663.3

Влияние пестицидов на морфологию дрожжевой клетки в процессе брожения плодового сусла

Г. Ю. Белослюдова¹, А. Л. Панасюк^{1,2}

¹ Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г.Разумовского (Первый Казачий университет), Москва, Россия

² ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Москва, Россия

Корреспонденция:

Белослюдова Галина Юрьевна,
Московский Государственный университет технологий и управления им.К.Г.Разумовского (Первый Казачий университет), 109004, Россия, Москва, ул. Земляной Вал, 73
E-mail: beloslyudova@bk.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 06.05.2024

Поступила после

рецензирования: 19.11.2024

Принята: 29.11.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. При производстве плодовых материалов используют плоды и ягоды, которые могут быть загрязнены пестицидами, негативно влияющими не только на качество и безопасность готовой продукции, а также на технологический процесс получения. Таким образом, обеспечение безопасности плодовых материалов и плодовых вин из них является важной задачей производителя.

Цель. Изучить влияние фосфорорганических пестицидов в ходе процесса брожения плодового материала на морфологию и физиологическую активность дрожжевой клетки.

Материалы и методы. Объектами исследования были выбраны пестициды диметоат, пиримифос-метил, малатион, представляющие собой чистые растворы, а также дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы Яблочная 7, выращенные в лаборатории. В качестве среды исследования было выбрано яблочный материал, полученное из свежих яблок.

Результаты. Результаты исследования показывают, что при наличии пестицидов в среде дрожжевая клетка способна отвечать путем изменения морфологии дрожжевой клетки. При этом выявлено, что структурные изменения в клетке зависят от вида воздействующего пестицида. Обнаружено различие в сорбционной способности дрожжевой клетки в зависимости от используемого пестицида.

Выводы. Полученные данные можно использовать при производстве плодовых материалов и вин.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

пестициды, изменение структуры дрожжевой клетки, плодовой материал, адсорбция, электронно-микроскопические исследования.



Для цитирования: Белослюдова Г.Ю., & Панасюк А.Л. (2024). Влияние пестицидов на морфологию дрожжевой клетки в процессе брожения плодового сусла. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 35–41. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s215>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s215>

Influence of Pesticides on the Morphology of Yeast Cells During the Fermentation of Fruit Must

Galina Yu. Beloslyudova¹, Alexander L. Panasyuk^{1,2}

¹ K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Moscow, Russia

² All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry, Moscow, Russia

Correspondence:

Galina Yu. Beloslyudova,
K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University),
73 Zemlyanoy Val street, Moscow, 109004, Russia
E-mail: beloslyudova@bk.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 06.05.2024

Received in revised form: 19.11.2024

Accepted: 29.11.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. In the production of fruit materials, fruits and berries are used, which can be contaminated with pesticides, which negatively affect not only the quality and safety of finished products, but also the technological process of obtaining. Thus, ensuring the safety of fruit materials and fruit wines from them is an important task of the manufacturer.

Purpose. To study the effect of organophosphate pesticides during the fermentation process of fruit material on the morphology and physiological activity of the yeast cell.

Materials and Methods. The objects of the study were selected pesticides dimethoate, pyrimiphos-methyl, malathion, which are pure solutions, as well as yeast *Saccharomyces cerevisiae* of the Malic 7 race, grown in the laboratory. Apple material obtained from fresh apples was chosen as the research medium.

Results. The results of the study show that in the presence of pesticides in the environment, the yeast cell is able to respond by changing the morphology of the yeast

Conclusions. The obtained data can be used in the production of fruit materials and wines.

KEYWORDS

pesticides, changes in the structure of yeast cells, fruit material, adsorption, electron microscopic studies.



To cite: Beloslyudova, G. Yu., & Panasyuk, A.L. (2024). Influence of pesticides on the morphology of yeast cells during the fermentation of fruit must. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 35–41. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s215>

ВВЕДЕНИЕ

Наличие пестицидов в плодах и ягодах, используемых для получения сброженных плодовых материалов и плодовых вин из них, может отрицательно влиять не только на здоровье потребителей, но также и на ход технологического процесса. Присутствие фосфорорганических пестицидов в плодах и ягодах, используемых для получения сброженных плодовых материалов, негативно влияет на процесс брожения и в конечном итоге ухудшает качество готового продукта.

В последние годы в литературе появились данные о возможности извлечения пестицидов из среды дрожжевыми клетками (Gallardo et al., 2012; Серова & Матросова, 2013), однако известно, что в процессе адсорбции пестицидов дрожжи снижают бродильную активность, что приводит к неполному сбраживанию сахаров и усилению образования нежелательных компонентов вина, например таких как летучие кислоты (Becerra et al., 2023). Тот факт, что дрожжи способны адсорбировать пестициды из среды, вызывает интерес, поскольку на определенных стадиях технологического процесса получения сброженных плодовых материалов содержание пестицидов может превышать допустимый уровень (Giacomini et al., 2023).

В исследованиях зарубежных коллег (Viviani-Nauer et al., 1997; Nishimura et al., 2002) обнаружена способность дрожжей адсорбировать или расщеплять определенные молекулы пестицидов, российские ученые также занимались вопросом адсорбции дрожжевой клеткой пестицидов (Панасюк и соавт., 2023; Ажогина и соавт., 1995), однако в этих исследованиях не затрагивалось изучение структурного изменения дрожжевой клетки. Таким образом, цель настоящего исследования заключается в изучении ответа дрожжевой клетки на присутствие в среде фосфорорганических пестицидов различного строения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Для исследования было использовано яблочное сусло, полученное путем прессования свежих яблок сорта Ред Делишес. Для сбраживания сусла использовали дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы Яблочная 7. Предварительно в яблочное сусло вносили пестициды малатион до достижения содержания 2,02 мг/кг, диметоат — 2,33 мг/кг, пиримифос-метил — 1,97 мг/кг. Образцы

с содержанием пестицидов и контрольный образец отбирали для подготовки к электронной микроскопии спустя 18, 36 и 72 часа после внесения дрожжевой разводки в яблочный сок.

Оборудование

Для проведения исследования использовали электронный микроскоп марки JEM-1400 (Япония), центрифуга лабораторная Liston C 2201 (Россия), электронно-цифровая камера Quemesa (Германия), ультрамикротом Reichert-Jung Ultracut E (США).

Методы и процедура исследования

Для электронно-микроскопических исследований суспензии дрожжевых клеток промывали для удаления культуральной среды и фиксировали 2,5 % раствором глутарового альдегида в 100 mM какодилате натрия в течение 40 минут, фиксированные образцы тщательно промывали какодилатом натрия и подвергли обработке литиказой в концентрации 45 единиц на мл в 1,4 M растворе сорбита с добавлением 20 mM триэтаноламина, 1 mM хлорида кальция и 10 mM дитиотреитола в течение 45 минут при 30 °C и осторожном перемешивании. Раствор для лизиса клеточной стенки удаляли центрифугированием в течение 5 минут и клетки несколько раз промывали какодилатом натрия перед последующей фиксацией 1 % тетроксидом осмия в какодилате натрия в течение 20 минут. Далее клетки обезвоживали в возрастающей концентрации этанола, включая пропитку уранилацетатом в 70 % этаноле в течение 40 минут. Переносили клетки в безводный ацетон и пропитывали смолой Эпон-812 путем обработки возрастающими концентрациями смолы в ацетоне. Образцы переносили в чистую смолу и инкубировали в течение 48 часов при 70°C. Фиксированные ячейки устанавливали на медные щелевые решетки, покрытые формваром. Ультратонкие срезы толщиной 80 нм готовили стеклянным ножом с использованием ультрамикротомы Reichert-Jung Ultracut E, затем срезы докрашивали 2 % водным раствором уранилацетата и цитратом свинца. Образцы исследовали и фотографировали с использованием электронного микроскопа JEM-1400 при напряжении 100 кВ, изображения были сняты цифровой камерой Quemesa.

Калибровку электронного микроскопа проводили с помощью стандартов в соответствии с ГОСТ Р 8.636–2007¹.

¹ ГОСТ Р 8.636–2007. Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые. Методика калибровки

Статистическую значимость оценивали с использованием U-критерия Манна-Уитни с поправками Бонферрони для сравнений, количество экспериментов для каждого образца было проведено 5 раз. Полученные результаты сравнивали с контрольным образцом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При ультратонкой организации дрожжевых клеток, подвергнутых воздействию пестицидов, было установлено, что популяции состояли из деструктурированных клеток. К деструктурированным клеткам относили особи, которые имели нарушение целостности цитоплазматической мембраны и мембранных органоидов, отсутствие гранулированного рибонуклеопротеида, низкую плотность цитоплазмы, наличие в ней зон коагуляции, а также полностью разрушенные клетки. Деструкцию клеток рассматривали как показатель токсического эффекта пестицидов так же, как и Ибрагимова и Эмирова (2020) в своем исследовании. Воздействие пестицидов в яблочном сусле вызвало подавление дыхательной активности дрожжей, снижение синтеза белка, а также процесс размножения клеток приостановился. В исследовании Колосовой и Кишковской (2017) выявлена способность дрожжей адсорбировать пестициды, при этом останавливается бродильная активность, однако полученные нами данные свидетельствуют о том, что дрожжи способны адсорбировать не все пестициды.

Цитологические изменения дрожжевой клетки заключались в появлении в цитоплазме эндоцитозных включений, усилении гликогенеза, митохондриогенеза, мембраногенеза, дифференциации ядерного материала на нуклеоплазму и периферические зоны хроматина. Эндоцитозные включения представлены обособленными от цитоплазмы округлыми светлыми зонами с аморфным содержимым (Рисунок 1). Наиболее вероятно, что эндоцитоз начинался с образования щелевидных инвагинаций цитоплазматической мембраны, а в последующем около инвагинации формировалось светлое образование округлой формы, с содержимым, которое идентично материалу среднего слоя клеточной стенки (Slavikova & Vadkertiova, 2014). В большинстве включений была обнаружена округлая мембранная везикула, являющаяся производной инвагинации, в исследование Montes de Oca et al. (2016) предполагает образование мембранной везикулы вследствие ее отшнуровки, что также подтверждается в нашем исследовании.

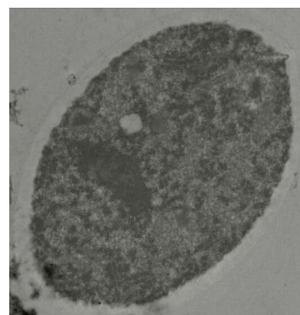
Последующая стадия эндоцитоза характеризовалась утратой морфологической связи включения с цитоплазматической мембраной. Включения были обнаружены в центре, вблизи или в контакте с вакуолями, что вероят-

Рисунок 1

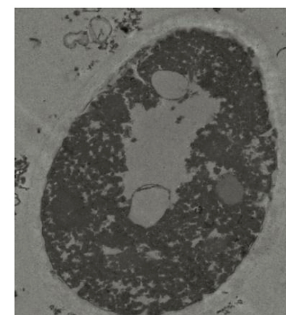
Общий вид дрожжевых клеток в середине логарифмической фазы роста

Figure 1

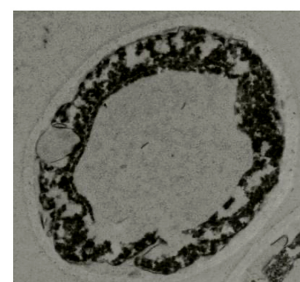
General View of Yeast Cells in the Middle of the Logarithmic Growth Phase



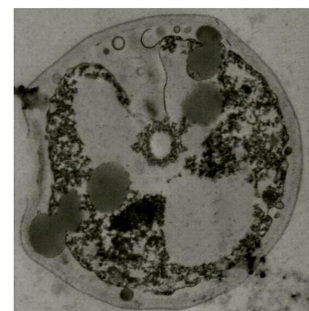
а — контрольная клетка



б — воздействие малатиона



в — воздействие диметоата



г — воздействие
пиримифос-метила

нее отражает продвижение эндоцитированного содержимого к вакуолярному компартменту клетки. Таким образом, выявленные нами цитологические проявления эндоцитоза, а также усиление гликогенеза, характеризуют влияние пестицидов на морфологию дрожжевой клетки, что подтверждается исследованиями Steiner et al. (2024).

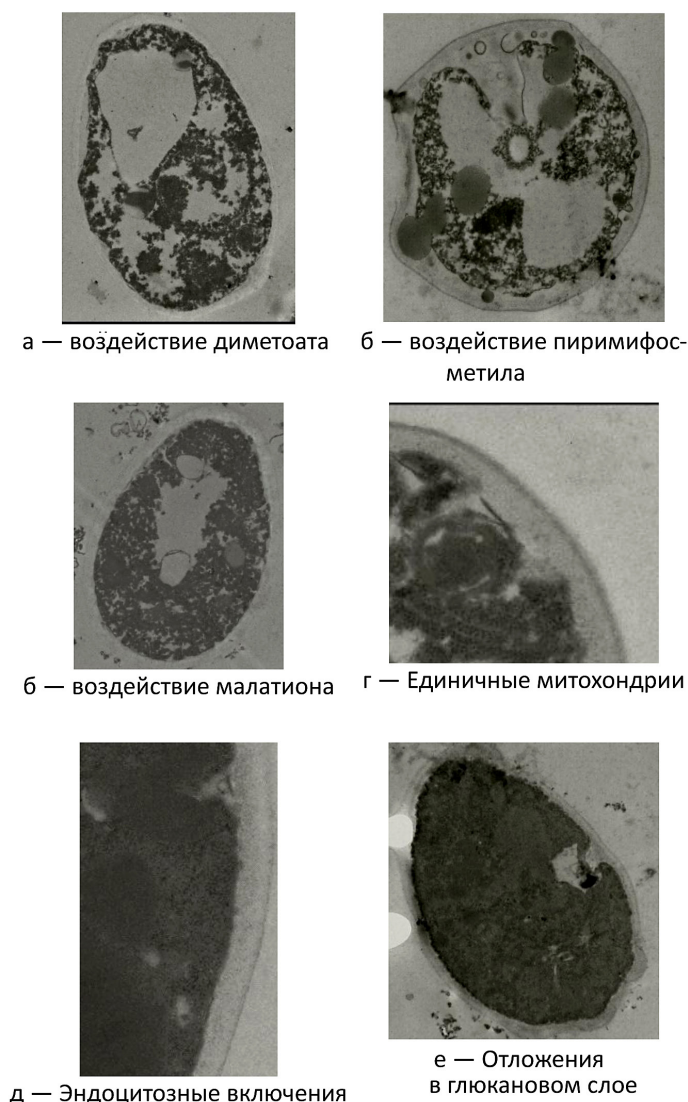
Другие изменения клетки, такие, как усиленное образование клеточных мембран, увеличение количества митохондрий, дифференцирование ядерного материала не рассматривались нами в качестве влияния пестицидов на дрожжевую клетку, поскольку эти изменения также характерны для клеток, в которых возрастает физиологическая активность.

Рисунок 2

Структурные перестройки дрожжевой клетке в результате воздействия пестицидов

Figure 2

Structural Rearrangements of Yeast Cell as a Result of Pesticide Exposure



Результаты воздействия фосфорорганических пестицидов на структуру дрожжевой клетки

Анализ ультраструктуры дрожжевой клетки, подвергнутой воздействию пестицидов диметоат и пиримифос-метила, позволил установить видимые отложения пестицидов в клеточной структуре большинства клеток (Рисунок 2). У отпочковавшихся клеток, на поверхности почечных шрамов и во внутреннем глюкановом слое, были обнаружены плотные отложения, вероятнее все-

го, представляющие собой, образовавшийся комплекс пестицидов с дрожжевой клеткой. В исследованиях Ажогиной и соавт. (1995) было выявлено, что пестициды могут связываться с липидами дрожжевой клетки, проведя исследование можно объяснить плотные отложения в глюкановом слое (Рисунок 2е) с образованием устойчивой коллоидной системы дрожжевой клетки и пестицида.

Влияние пестицида малатион на дрожжевую клетку различалось в структурных особенностях эндоцитоза, а именно наименьшее по содержанию и количеству эндоцитозных включений, при этом включения обладали наименьшими размерами. Морфология интактных клеток также, как и в среде с пестицидами диметоат и пиримифос-метил, характеризовалось высоким содержанием рибосомального компонента, однако, в цитоплазме дрожжевой клетки из среды с пестицидом малатион, отсутствовал гликоген, обнаружено большее количество митохондрий, обладающих конденсированными формами (Панасюк и соавт., 2000).

В среде с малатионом в клетках мембранообразующая способность выражена сильнее, чем в среде с диметоатом и пиримифос-метилом, инвагинации цитоплазматической мембраны обладали значительной протяженностью в глубину цитоплазмы, а эндоплазматический ретикулум дрожжевой клетки был более развит. Таким образом, можно сделать вывод, что усиление мембраногенеза и митохондрогенеза, дифференцирование ядра, а также высокое содержание рибонуклеопroteида, выражают повышение адсорбционной активности дрожжевой клетки. При наличии клеток с признаками деструкции обнаружена высокая сорбция пестицида малатион. Предположительно основополагающую роль в сорбции малатиона выполняют биополимеры клеточных стенок дрожжевой клетки, что подтверждается увеличением электронно-оптической плотности клеточных стенок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные данные показывают, что воздействие на дрожжевую клетку разных по строению фосфорорганических пестицидов неодинаково, что приводит к различным изменениям в морфологии дрожжевой клетки. Отличительные особенности изменения структуры дрожжевой клетки относительно контрольных, отображают различные функциональные нагрузки клеток, как для осуществления эндоцитоза, так и для защитных механизмов дрожжевой клетки. Наличие клеток с признаками деструкции является следствием токсического воздействия пестицидов на дрожжевую клетку. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что диметоат и пиримифос-метил незначитель-

но удаляется из среды, при этом содержание малатиона в сброженном плодном материале находится в допустимых пределах, что связано вероятнее всего со структурой пестицида, а также с избирательной сорбционной способностью дрожжей.

Данные проведенной работы свидетельствуют о необходимости разработки новых технологических приемов в виноделии для снижения остаточного содержания пестицидов.

ВКЛАД АВТОРОВ

Белослюдова Г.Ю.: разработка методологии исследования, проведение исследовательского процесса, подготовка и создание черновика рукописи

Панасюк А.Л.: концептуализация, разработка методологии исследования, надзор и руководство за планированием и выполнением исследовательской деятельности, подготовка и создание рукописи, ее комментирование

AUTHORS CONTRIBUTION STATEMENT

Galina Yu. Beloslyudova: methodology; investigation; writing – original draft preparation; writing – review & editing

Alexander L. Panasyuk: conceptualization; investigation; project administrations; writing – review & editing

ЛИТЕРАТУРА

- Ажогина, В. Л., Агеева, И. М., Гугучкина, Т. И. (1995). Трансформация липидного комплекса сусел и вин под действием пестицидов. *Известия вузов. Пищевая технология*, (5–6), 26–27.
- Azhogina, V. L., Ageeva, I. M., Guguchkina, T. I. (1995). Transformation of the lipid complex of musts and wines under the influence of pesticides. *Izvestiya vuzov. Food Technology*, (5–6), 26–27. (In Russ.)
- Ибрагимова, Э. Э., & Эмирова, Д. Э. (2020). Оценка экотоксического действия различных концентраций раундапа на *Saccharomyces cerevisiae*. *Экосистемы*, (23), 111–117.
- Ibragimova, E. E., & Emirova, D. E. (2020). Assessment of ecotoxic action of various roundup concentrations on *Saccharomyces cerevisiae*. *Ekosistemy*, (23), 111–117. (In Russ.)
- Колосова, А. А., & Кишковская, С. А. (2017). Влияние пестицидов на длительность забраживания виноградного сусла. *Магарач. Виноградарство и виноделие*, (1), 34–36.
- Kolosova, A. A., & Kishkovskaya, S. A. (2017). The influence of pesticides on the duration of fermentation of grapes must. *Magarach. Viticulture and winemaking*, (1), 34–36. (In Russ.)
- Панасюк, А. Л., Клепиков, Д. В., & Белослюдова, Г. Ю. (2023). Снижение содержания остаточных количеств некоторых пестицидов в плодовых сброженных материалах. *Пиво и напитки*, (3), 33–37. <https://doi.org/10.52653/PIN.2023.03.03.006>
- Panasyuk, A. L., Klepikov, D. V., & Beloslyudova, G. Yu. (2023). Reduction of residual amounts of some pesticides in fruit fermented materials. *Beer and Beverages*, (3), 33–37. <https://doi.org/10.52653/PIN.2023.03.03.006> (In Russ.)
- Панасюк, А. Л., Кузьмина, Е. И., Харламова, Л. Н., & Лиле, М. В. (2000). Изучение морфологических особенностей клеток винных дрожжей при воздействии пестицидов. В *Пищевая промышленность на рубеже третьего тысячелетия*, 2(5), (с. 188). МГТА.
- Panasyuk, A. L., Kuzmina, E. I., Kharlamova, L. N., & Lilye, M. V. (2000). Study of morphological features of wine yeast cells under the influence of pesticides. In *Food industry at the turn of the third millennium*, 2(5), (p. 188). MGTA (In Russ.)
- Серова, Ю. В., & Матросова, Л. Е. (2013). Биodeградирующая способность микроорганизмов в отношении тетраметилтиурамдисульфида. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*, (3 (19)), 37–38.
- Serova, Yu. V., & Matrosova, L. E. (2013). Biodegradation capacity of microorganisms in relation to tetramethylthiuram disulfide. *Actual Questions of Veterinary Biology*, (3 (19)), 37–38. (In Russ.)
- Becerra, K., Ghosh, S., & Godoy, L. (2023). Pesticide and yeast interaction in alcoholic fermentation: A mini-review. *Fermentation*, (9), 1–13. <https://doi.org/10.3390/fermentation9030266>
- Gallardo, G., Martín, A., Hernández, A., Pérez-Navado, F., Casquete, R., & Córdoba, M. G. (2012). Role of yeast in the persistence of pesticides during the fermentation of vegetable products. In *Microbes in Applied Research*, (pp. 304–307). https://doi.org/10.1142/9789814405041_0061
- Giacomini, R., Acosta, E., Cerqueira, M., Primel, E., & Garda-Buffon, J. (2023). Alcoholic fermentation as a strategy to mitigate pesticides and mycotoxins. *Food and Bioprocess Technology*, (16), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03070-9>

- Montes de Oca, R., Salem, A.Z.M., Kholif, A.E., Monroy, H., Perez, L.S., Zamora, L.J. & Gutierrez, A. (2016) Yeast: Description and structure. In: Salem, A.Z.M., Kholif, A.E. & Puniya, A.K. (eds.) *Yeast additive and animal production*. PubBioMed Central Research Publishing Services, pp. 4–13.
- Nishimura, K., Yamamoto, M., Nakagoni, T., Taki- Guchi, Y., Naganuma, T., & Usuka, Y. (2001). Biodegradation of triazine herbicides on polyvinylalcohol gel plates by the soil yeast *Lipomyces starkeyi*. *Applied Microbiology and Botechnology*, 58, 848–852.
- Sláviková, E., & Vadkertiová, R. (2003). Effects of pesticides on yeasts isolated from agricultural soil. *Zeitschrift fur Naturforschung. C, Journal of biosciences*, 58(11–12), 855–859. <https://doi.org/10.1515/znc-2003-11-1220>
- Steiner, M., Falquet, L., Fragnière, A.-L., Brown, A., & Bacher, S. (2024). Effects of pesticides on soil bacterial, fungal and protist communities, soil functions and grape quality in vineyards. *Ecological Solutions and Evidence*, 5, e12327. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12327>
- Viviani-Nauer A., Hoffman-Boller, P., & Gafner, J. (1997). In vitro degradation of phthalimide in aqueous solutions and in yeast suspensions. *American Journal of Enology and Viticulture*, 48, 63–66.

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s232>

Современное состояние и использование биоразлагаемых материалов

Н. С. Баженов, М. И. Губанова, И. А. Кирш, О. А. Банникова,
В. А. Дымицкий

Российский биотехнологический
университет (РОСБИОТЕХ), Москва,
Россия

Корреспонденция:

Баженов Никита Сергеевич,
Российский биотехнологический
университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: bazhenovns@mgurp.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

Поступила: 17.09.2024

Поступила после

рецензирования: 30.11.2024

Принята: 30.11.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Одним из важных факторов необходимости разработки биоразлагаемой упаковки является наличие ее не разлагаемых вариаций в отходах до 50%. В связи с этим актуальной задачей является модификация биоразлагаемых полимеров для придания упаковке высоких эксплуатационных свойств с сохранением способности к биоразложению.

Цель. Рассмотреть современное состояние и использование биоразлагаемых материалов в России и зарубежом.

Материалы и методы. Отбор исследований проводился в два этапа: принималось решение о включении публикации в обзор на основе ее названия и аннотации, проводилось изучение полнотекстовых статей для детальной оценки на соответствие критериям включения. Проводилась оценка качества подготовки в исследованиях. При проведении синтеза данных выполнено сопоставление, комбинация и краткое изложение результатов отдельных исследований. В обзор были включены статьи, опубликованные с 1999 по 2024 год. Статьи отбирались исходя из количества их цитирований по следующим ключевым словам: биоразлагаемая упаковка, медицина, фармацевтика, окружающая среда, пищевые технологии, биомасса и химический синтез.

Результаты. В результате интерактивного поиска было выделено 56 исследований. После анализа исследований было установлено, что разнообразие биоразлагаемых полимеров позволяет раскрыть их потенциал для применения в различных областях. Широкий выбор таких полимеров предоставляет возможность для создания новых материалов, которые могут эффективно разлагаться в природе и иметь необходимые нам эксплуатационные свойства. Также большинство исследований не обнаружили неблагоприятных последствий для различных организмов, как следствие, можно сделать лишь ограниченное заявление об экологической совместимости биоразлагаемых полимеров. Использование различных модификаций привело к расширению использования съедобных и биоразлагаемых пленок, что связано с улучшением общих характеристик биополимеров, повышением их механических, термических и барьерных свойств, как правило, даже при очень низком содержании. Таким образом, модификаторы играют важную роль в повышении эффективности использования биополимеров, которые сокращают количество отходов упаковки, связанных с обработанными пищевыми продуктами, и способствуют сохранению продуктов, продлевая срок их хранения.

Выводы. В данной статье проанализированы исследования о биоразлагаемых полимерах и композициях на их основе, современное состояние и использование биоразлагаемых материалов в различных областях. Приведены современные исследования по оценке возможного влияния биоразлагаемых полимеров на окружающую среду. Показаны перспективные тенденции использования биоразлагаемых полимеров в пищевой промышленности, а также в медицине и фармацевтике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

биоразлагаемая упаковка; медицина; фармацевтика; окружающая среда; пищевые технологии; биомасса и химический синтез.

Для цитирования: Баженов, Н. С., Губанова, М.И., Кирш, И. А., Банникова, О.А., & Дымицкий, В. А. (2024). Современное состояние и использование биоразлагаемых материалов. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 42–56. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s232>



<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s232>

Current State and Use of Biodegradable Materials

Nikita S. Bazhenov, Marina I. Gubanova, Irina A. Kirsh, Olga A. Bannikova, Viktor A. Dymitsky

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Nikita S. Bazhenov,
Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), 11, Volokolamskoe
Highway, Moscow, 125080, Russia
Email address: bazhenovns@mgupp.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 17.09.2024

Received in revised form: 30.11.2024

Accepted: 30.11.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. One of the important factors in the need to develop biodegradable packaging is the presence of its non-decomposable variations in waste up to 50%. In this regard, the modification of biodegradable polymers to impart high performance properties while maintaining the ability to biodegrade is an urgent task.

Purpose. To consider the current state and the use of biodegradable materials in Russia and abroad.

Materials and Methods. The selection of studies was carried out in two stages: a decision was made to include a publication in the review based on its title and abstract, and full-text articles were studied for a detailed assessment of compliance with the inclusion criteria. An assessment of the research quality was conducted. During data synthesis, the results of individual studies were compared, combined, and summarized. The review included articles published from 1999 to 2024. The articles were selected based on the number of citations for the following keywords: biodegradable packaging, medicine, pharmaceuticals, environment, food technology, biomass and chemical synthesis.

Results. As a result of this interactive search, 56 studies were identified. After analyzing the research, it was found that the variety of biodegradable polymers allows them to unlock their potential for use in various fields. A wide range of such polymers provides an opportunity to create new materials that can efficiently decompose in nature and have the performance properties we need. Also, most studies have not found adverse effects for various organisms, and only a limited statement can be made about the environmental compatibility of biodegradable polymers. The use of various modifications has led to the expansion of the utilization of edible and biodegradable films, which is associated with an improvement in the general characteristics of biopolymers, increasing their mechanical, thermal and barrier properties, usually even at very low content. Thus, modifiers play an important role in increasing the efficiency of biopolymers application, which reduce the amount of packaging waste associated with processed foods and contribute to the preservation of products by extending their shelf life.

Conclusions. This article discusses biodegradable polymers and compositions based on them, the current state and use of biodegradable materials in various fields. Modern studies on the assessment of the possible impact of biodegradable polymers on the environment are presented. Promising trends in the use of biodegradable polymers in the food industry, as well as in medicine and pharmaceuticals are shown.

KEYWORDS

biodegradable packaging; medicine; pharmaceuticals; environment; food technology; biomass and chemical synthesis.



To cite: Bazhenov, N. S., Gubanova, M. I., Kirsh, I. A., Bannikova, O. A., & Dymitsky, V. A. (2024). The current state and use of biodegradable materials. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 42–56. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s232>

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире особое внимание уделяется упаковке, которая должна обладать способностью к биоразложению. В связи с этим растет интерес к разработке биополимеров и инновационным технологическим процессам, которые могут снизить зависимость от ископаемого топлива и перейти на экологически чистую материальную основу. Бионаноккомпозиты открывают возможности для создания новых, высокоэффективных, легких, экологически чистых наноккомпозитных материалов, что позволяет им заменить обычные, не поддающиеся биологическому разложению пластиковые упаковочные материалы на нефтяной основе. На сегодняшний день наиболее изученными бионаноккомпозитами, подходящими для упаковки, являются производные крахмала и целлюлозы, полимолочная кислота (PLA), поликапролактон (PCL), полибутиленсукцинат (PBS) и полигидроксibuтират (PHB) (Vieira, 2011).

При внедрении в современное производство биоразлагаемых материалов одним из основных преимуществ является снижение потребности в синтетических полимерах при равной стоимости производства или ниже. Есть несколько путей получения синтеза биоразлагаемых полимеров: с помощью микроорганизмов, растений или животных; химическим способом из углеводов, белков или жиров. Все материалы, полученные различными способами, будут являться альтернативой их не биоразлагаемым аналогам, но использование их в чистом виде невозможно в связи с присущими им низкими барьерными, структурными и другими свойствами.

Переход на биоразлагаемую упаковку приведет к снижению количества трудно перерабатываемой упаковки, которая составляет до 65 % от общего объема твердых коммунальных отходов (Zaikova, 2022). В рамках стратегии экономики замкнутого цикла по органике планируется, что до 2030 года в России введут 12,8 миллиона тонн мощностей по компостированию. В связи с этим актуальной задачей является модификация биоразлагаемых полимеров для придания высоких эксплуатационных свойств с сохранением способности к биоразложению.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методология

На первом этапе была сформулирована тема исследования для определения объема и направления обзора. Разработана комплексная стратегия поиска, которая включает в себя разработку систематического и исчерпывающего плана выявления исследований

соответствующих тематике в различных базах данных и источников. Далее проведен скрининг и отбор работ по критериям включения и исключения, что обеспечивает объективность и воспроизводимость отбора исследований. Выполнен синтез данных (Унгуряну, 2019).

Процедура исследования

Отбор исследований для включения в обзор проводился в два этапа. На первом этапе принималось решение о включении публикации в обзор на основе ее названия и аннотации. На втором этапе проводилось изучение полнотекстовых статей для детальной оценки на соответствие критериям включения. Далее была проведена оценка качества подготовки в исследованиях. При проведении синтеза данных выполнено сопоставление, комбинация и краткое изложение результатов отдельных исследований.

В обзор были включены статьи, опубликованные с 1999 по 2024 год. Статьи отбирались исходя из количества их цитирований по следующим ключевым словам: «биоразлагаемая упаковка», «медицина», «фармацевтика», «окружающая среда», «пищевые технологии», «биомасса» и «химический синтез».

Первичное сканирование баз данных Scopus, WoS и Pubmed помогло выявить при помощи ключевых слов «биоразлагаемая упаковка», «медицина», «фармацевтика», «пищевые технологии», «биомасса» и «химический синтез», ряд исследований с заданным индексом цитирования (цитируется более 15 раз). Далее источники были ранжированы в рамках исследуемого временного промежутка. В результате этого интерактивного поиска было выделено 56 исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Виды биоразлагаемых полимеров и композиции на их основе

Биоразлагаемые полимеры можно разделить на три основные группы в зависимости от их происхождения и производства (Рисунок 1).

К группе биоразлагаемых полимеров, произведенных и извлеченных из биомассы, относятся крахмал, бактериальная целлюлоза, целлофан, белок и другие.

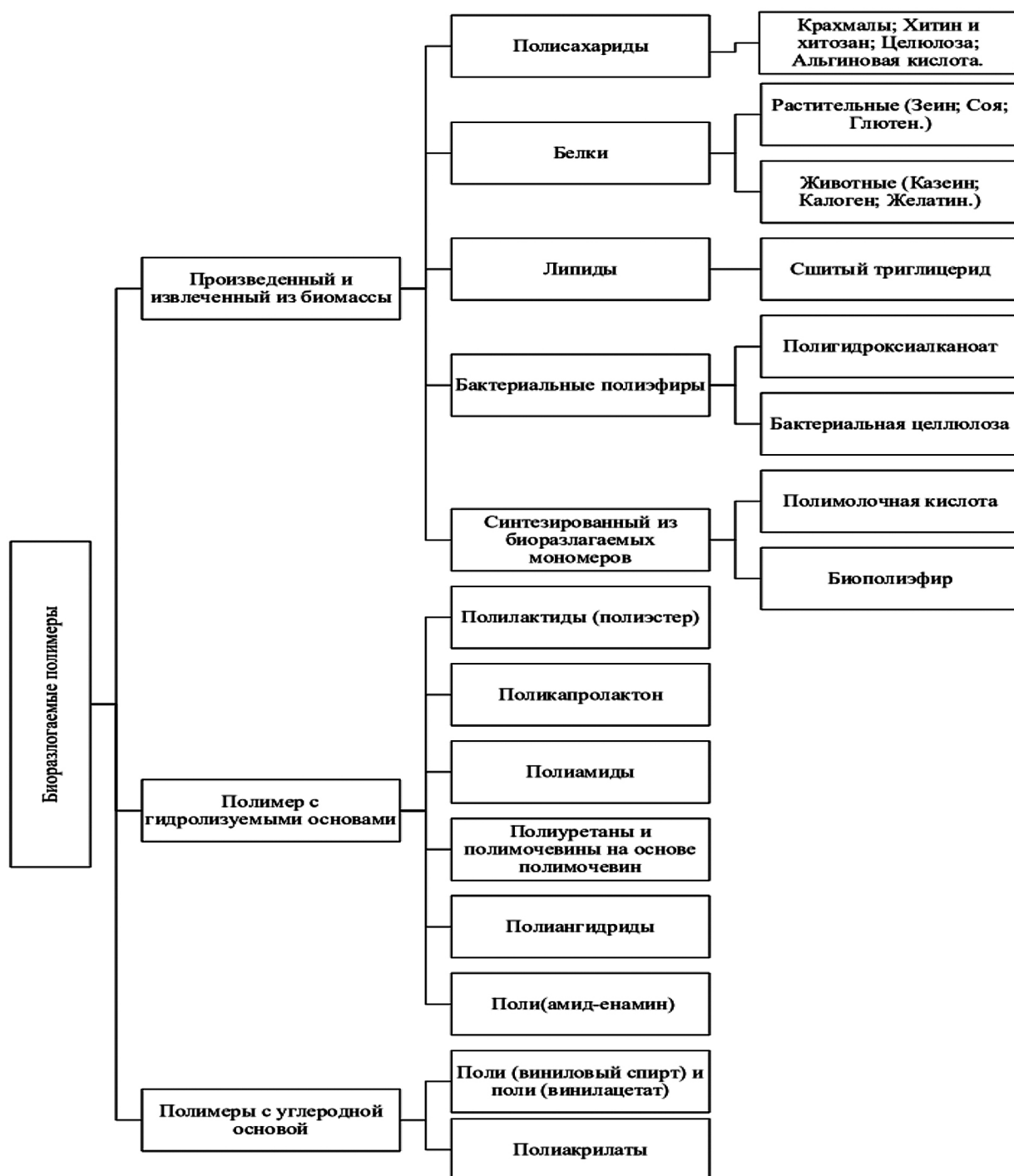
Крахмал считается перспективным среди всех материалов для упаковки пищевых продуктов на основе натуральных биополимеров из-за его легкой доступности, способности к биологическому разложению и более низкой стоимости. Крахмал является основной фор-

Рисунок 1

Группы биоразлагаемых полимеров

Figure 1

Groups of Biodegradable Polymers



мой запасаемых углеводов в таких растениях, как кукуруза, крупяные изделия, рис и картофель. Крахмал состоит из смеси двух полимеров α -глюкозы — линейной амилозы и сильно разветвленного амилопектина (Fredrikson et al., 1998; Ratnayake et al., 2001; Tang, 2012).

Крахмал проявляет термопластичные свойства при добавлении пластификатора — воды или глицерина. Термопластичный крахмал (TPS) может быть получен путем желатинизации гранулированного крахмала в присутствии пластификатора, тепла и давления. Продукты TPS с различной вязкостью, растворимостью в воде и водопоглощением были получены путем изменения содержания влаги/пластификатора, а также температуры и давления в экструдере (Mohanty, 2000). Пластификаторы могут повысить гибкость и технологичность TPS. Его пластифицируют путем деструкции в присутствии определенного количества воды или пластификаторов и тепла, а затем экструдуют. Термопластичный крахмал (TPS) обладает высокой чувствительностью к влажности и относительно низкими механическими свойствами, из-за чего не может быть использован во многих областях.

Было показано, что на тепловые свойства TPS в большей степени влияет содержание воды, чем молекулярная масса крахмала (Chandra & Rustgi 1998). Главным образом, термопластичный крахмал применяется в растворимых компостируемых пенопластах, вспененных лотках, формованных деталях и вспененных слоях в качестве замены полистирола.

Группой ученых из России были исследованы пленки на основе крахмала. Ими было установлено, что одним из важнейших параметров является усадка. В качестве пластификатора был заявлен глицерин. Состав материала крахмал 70 % и 30 % глицерина дает наилучшие показатели усадки в размере 17 % (Аникеева, 2024). В другом исследовании разработана технология получения пленки из смеси маниокового крахмала, монтмориллонита (ММТ), хитозана, глицерина в качестве пластификатора и дистиллированной воды, доведенной до pH = 3 добавлением уксусной кислоты. Новая пленка продемонстрировала улучшение свойств при растяжении благодаря эффекту армирования хитозаном, а также гидрофобность поверхности пленки (Камреегараррип, 2007). Также было выявлено, что амилоза растворима в воде и образует спиральную структуру. Относительные количества и молярные массы амилозы и амилопектина варьируются в зависимости от источника крахмала, в результате получают материалы с различными механическими свойствами и способностью к биологическому разложению. По мере увеличения содержания амилозы в крахмале удлинение и прочность также увеличиваются (Fredrikson et al., 1998; Ratnayake et al., 2001).

Бактериальная целлюлоза (БЦ) представляет собой природный наноматериал, вырабатываемый в виде экзополисахарида некоторыми бактериями, например, из рода *Komagataeibacter* (ранее *Gluconacetobacter*), культивируемыми в среде с источниками углерода и азота (Rajwade et al., 2015). По сравнению с другими родами, *Komagataeibacter* обычно является предпочтительным родом для исследований и применения в пищевых продуктах из-за более высокого выхода и чистоты БЦ (Ruka et al., 2012). Некоторые возможные объяснения образования целлюлозы этими микроорганизмами заключаются в том, что БЦ образуется как механизм самозащиты, призванный защитить бактерии от разрушительного воздействия ультрафиолетового света или помочь бактериям плавать на границе раздела воздух-жидкость, чтобы обеспечить достаточное снабжение кислородом (Reiniati, 2017).

Другими уникальными свойствами БЦ являются более высокая степень полимеризации и высокие свойства на растяжение благодаря его сетчатой структуре. По сравнению с растительной целлюлозой волокна БЦ также имеют более высокую удельную площадь, более высокую водоудерживающую способность (удерживают воду в сотни раз больше своего веса) и более длительное время высыхания. Более того, его производство не требует жесткой химической обработки для выделения и очистки целлюлозы (Azeredo, 2019).

Основным недостатком БЦ является высокая себестоимость продукции, которая считается ограничивающим фактором. Многочисленные исследования направлены на оценку различных питательных сред из агропромышленных отходов с целью получения выгодных питательных сред, которые способствуют снижению производственных затрат БЦ (Azeredo et al., 2019; Wang, Tavakoli & Tang, 2019).

Высокая себестоимость производства была частично решена в исследовании Сюй и соавторов (2021). Они предлагают простой, быстрый и экологически чистый способ создания биоразлагаемой пленки с использованием хитозана, бактериальной целлюлозы и куркумина. Образцы хитозана (5 г) растворяли в колбе, содержащей 500 мл 1 %-ного раствора ледяной уксусной кислоты. Смеси непрерывно перемешивали с помощью магнитной мешалки при температуре 25 °C в течение ночи для получения 1 % (по массе) гомогенного раствора хитозана. Затем диспергировали глицерин и куркумин с концентрацией 0,5 %, а затем добавляли бактериальную суспензию для получения концентрации 5 %. Для гомогенизации смеси при 25000 об/мин в течение 25 мин использовали высокоскоростной гомогенизатор. Затем его дегазировали ультразвуком в течение 60 мин, и для приготовления пленок использовали метод заливки раствором (Xu et al., 2021).

Целлофан обладает хорошими механическими свойствами, но он чувствителен к влаге. Его часто покрывают нитроцеллюлозным воском или поливинилиденхлоридом для улучшения его влагозащитных свойств. Целлофан с покрытием используется для выпечки, свежих продуктов, мясных полуфабрикатов, сыра и конфет. Целлофан обладает хорошими газозащитными свойствами при низкой относительной влажности. Однако его барьерные свойства снижаются при средней и высокой относительной влажности. Целлофан не поддается термосвариванию из-за своей нетермопластичной природы (Peterson, 1999).

Биоразлагаемым материалом является белок. Пленки на его основе стали объектом исследований из-за высоких пленкообразующих свойств, низкой стоимости и способности к биологическому разложению. Белковые пленки были разработаны на основе пшеничного глютена, соевого белка, желатина, кукурузного зерна, казеина и сывороточного протеина. Продемонстрировано, что белковые пленки обладают низкой проницаемостью для кислорода. Однако белковые пленки обладают более высокой паропроницаемостью по сравнению с пластиковыми пленками из-за гидрофильной природы большинства белков (Tang, 2012).

Зеин — биоразлагаемый и биосовместимый материал, добываемый из возобновляемых источников; он составляет почти 80 % от общего содержания белка в кукурузе. Физические и химические характеристики и особая структура (на молекулярном, нано- и микроуровне) делают молекулы зеина по своей сути превосходящими многие другие полимеры из природных источников и синтетические. Отмечается, что способность к биологическому разложению и биосовместимость зеина связанные со структурой зеина, позволяют использовать его в различных сферах (Corradini, 2014).

Зеин — амфифильный белок, обладающий как гидрофобными, так и гидрофильными свойствами. Немного более 50 % аминокислотных остатков зеина являются гидрофобными, включая высокий процент лейцина (20 %), пролина (10 %) и аланина (10 %), но зеин также имеет относительно высокое содержание (21–26 %) глутамина (гидрофильного аминокислота) (Shukla, 2001). Традиционным способом экстракции этого белка является водно-спиртовой раствор. Экстракт осветляется центрифугированием, а затем охлаждается для осаждения зеина. Дополнительные экстракции и осаждения повышают чистоту зеина. После сушки зеин образует желтоватый порошок (Corradini, 2014).

Благодаря своей молекулярной массе, степени полимеризации и химической структуре зеин обладает хорошими пленкообразующими свойствами. Образование пленки зеина происходит благодаря трехмерной сети,

стабилизированной водородными взаимодействиями, гидрофобными взаимодействиями и дисульфидными связями между цепями белка. Пленки из зеина производятся двумя технологическими процессами: мокрым способом, основанным на солюбилизации, и сухим способом, основанным на термопластичных свойствах зеина в условиях очень низкой влажности. Мокрым способом пленки из зеина получают путем растворения в растворе алифатических спиртов и испарения растворителя на инертных поверхностях. Эти пленки твердые, хрупкие, ударопрочные и обычно требуют добавления пластификаторов для настройки некоторых свойств (Naushad Emmambux, 2007).

Упаковочные материалы на основе полимолочной кислоты (PLA) являются ведущими биоматериалами для многочисленных применений в медицине, а также в промышленности, заменяющим традиционные полимеры на основе нефтехимии. PLA может изготавливаться с использованием возобновляемых сельскохозяйственных ресурсов, таких как кукуруза или сахарная свекла. Материал обладает хорошими механическими и термическими свойствами; однако его свойства в значительной степени зависят от соотношения между двумя мезоформами D и L (Jacobsen & Fritz, 1999; Ke & Sun, 2001). В настоящее время PLA используется в упаковке в виде пленок, термоформованных и выдувных контейнеров, посуды для пищевых продуктов и бутылок с коротким сроком годности (Gross & Kalra, 2002).

Применение PLA рассмотрено в исследованиях Рима (2013). Он утверждает, что на сегодняшний день PLA является наиболее широко исследованным и используемым биоразлагаемым алифатическим полиэфиром в истории человечества. Основной целью исследования было улучшение механических и физических свойств, которые влияют на его стабильность, обрабатываемость, разложение, несмешиваемость с другими полимерами, старение и пригодность для вторичной переработки, и, следовательно, на его потенциальную пригодность для выполнения конкретных требований применения (Rhim, 2013).

Упаковочные материалы на основе полигидроксиалканоеата (PHA), обладают превосходными пленкообразующими и покрывающими свойствами. PHA обладают свойствами, близкими к свойствам полипропилена (PP). PHA более гидрофобны, чем материалы на основе полисахаридов, что обеспечивает их лучшие влагозащитные свойства. PHA поддаются биологическому разложению в почве и обладают превосходной технологичностью. Более высокая стоимость производства, хрупкость и плохие газобарьерные свойства ограничивают использование PHA (Peterson, 1999).

К группе полимеров с углеродной основой относится поливиниловый спирт (PVA), который имеет уникальные свойства, такие как высокое оптическое пропускание, растворимость в воде, стабильная термическая и не коррозионная природа, что делает его хорошей основой для множества применений (Gaaz, 2015; Saini, 2017; Rivelilson, 2014). PVA представляет собой кремообразный или беловатый, без вкуса, запаха, нетоксичный, биосовместимый, термостабильный, гранулированный или порошкообразный полукристаллический или линейный синтетический полимер (Abdullah, 2017; Saini, 2017). Он обладает удивительными оптическими свойствами, большой диэлектрической прочностью и превосходной способностью накапливать заряд (Saini, 2017).

Впервые PVA был синтезирован в 1924 году Германом и Хенелем путем омыления поливинилового эфира раствором гидроксида натрия, в результате чего был получен раствор PVA (Ben Halima, 2016). Физико-химические и механические свойства PVA определяются количеством гидроксильных групп, присутствующих в полимере PVA. Для промышленного производства PVA основным сырьем для полимеризации PVA является винилацетат (в виде мономера). Проводится контролируемый частичный щелочной гидролиз (омыление) винилацетата, при котором сложноэфирная группа винилацетата частично заменяется гидроксильной группой в среде водного раствора гидроксида натрия. Осадок этой реакции называется PVA (Ben Halima, 2016).

Продолжительность периода реакции омыления определяет степень гидролиза PVA. Низкомолекулярный PVA получают полимеризацией ацетальдегида при низкой температуре от -80 °C до -20 °C с амальгамой натрия. В зависимости от степени гидролиза (%) и молекулярной массы на рынке доступны различные марки PVA, обладающие различными характеристиками, включая температуру плавления, вязкость, pH, показатель преломления (Aslam, 2018). Химические свойства чистого PVA приведены в Таблице 1.

Микробная инфекция остается одним из наиболее серьезных осложнений в области упаковки и хранения пищевых продуктов. Антимикробные препараты вызывают интерес как со стороны академических исследований, так и со стороны промышленности из-за их потенциала в обеспечении качества и безопасности многих материалов. Однако низкомолекулярные антимикробные агенты страдают от многих недостатков, таких как токсичность для окружающей среды и кратковременная антимикробная способность.

Для преодоления проблем, связанных с низкомолекулярными антимикробными агентами, в молекулы полимера могут быть введены антимикробные функциональные группы (Farah, 2016). Использование про-

тивомикробных полимеров остается широко исследуемым направлением, открывает перспективы для повышения эффективности некоторых существующих противомикробных агентов и минимизации экологических проблем, сопровождающих обычные противомикробные агенты, за счет снижения остаточной токсичности агентов, повышения их эффективности и селективности, а также продления срока службы противомикробных агентов.

Например, в работе Трипатчи (2009) было разработано новое антимикробное покрытие на основе хитозана и поливинилового спирта (ПВС) для оценки его воздействия на минимально обработанные помидоры с помощью микробиологических анализов. В работе антимикробная пленка была получена путем смешивания хитозана (CS) и ПВС с глутаровым альдегидом в качестве сшивающего агента. Микробиологический скрининг продемонстрировал антимикробную активность пленки в отношении пищевых патогенных бактерий, а именно кишечной палочки, золотистого стафилокока и *Bacillus subtilis* (Tripathi, 2009).

Значимое место в группе полимеров с гидролизуемой основой занимает поликапролактон (ПКЛ) — биоразлагаемый полиэфир с температурой плавления 59–64 °C. Один из его способов применения описали в работе Подденежного и соавторов (2024). В композит вводился порошок из пшеничной и ржаной муки с целью снижения себестоимости и повышения сроков разложения. Полученные материалы имели высокую скорость

Таблица 1
Химические свойства PVA
Table 1
Chemical Properties of PVA

Параметр	Значение
Молекулярная масса	от 20 000 до 400 000 г/моль
Структурная формула	$(\text{CH}_2\text{CHON})_n - (\text{CH}_2\text{CHOCOSCH}_3)_n$
Эмпирическая формула	$(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2)_n$
Частично гидролизованный PVA	84.2 %–89 %
Умеренно гидролизованный PVA	92.2 %–96.5 %
Полностью гидролизуется PVA	98 %–99 %
Растворимость	Растворим в воде. Нерастворим в алифатических и ароматических углеводородах, маслах, кетонах и сложных эфирах

разложения в сравнении с чистым ПКЛ (Подденежный и соавт., 2024)

Разнообразие структур и составов биоразлагаемых полимеров подчеркивает их уникальные свойства и потенциал для различных областей применения. Широкий выбор таких полимеров предоставляет возможность для создания новых материалов, которые могут эффективно разлагаться в природе. Дальнейшее исследования в данной области позволит расширить их применение и будет способствовать созданию более функциональных и безопасных материалов.

Влияние биоразлагаемых полимеров на окружающую среду

Разработка биоразлагаемых полимеров уже несколько лет находится на подъеме, поскольку они могут решить существующие проблемы вредного воздействия на окружающую среду отходов упаковки с длительным сроком разложения. Биоразлагаемые полимеры применяют в текстильной промышленности и медицине. Как материалы, биоразлагаемые полимеры также являются многообещающей альтернативой в основном неразлагаемыми промышленными полимерами для борьбы с глобальной проблемой пластиковых отходов. Ежегодно во всем мире производится более 250 миллионов тонн полимеров (в основном полиолефинов). Эти полимеры долговечны и демонстрируют высокую стойкость в окружающей среде, что рассматривается как преимущество во многих областях применения (например, в производстве труб, самолетов и т. д.). Однако при неконтролируемой утилизации они будут накапливаться в природе десятилетиями (Haider, 2018).

Согласно Международному союзу теоретической и прикладной химии (IUPAC), биоразлагаемые полимеры определяются как «полимеры, подверженные деградации под действием биологической активности, при этом деградация сопровождается снижением его массы». В целом процесс биodeградации полимеров можно разделить на четыре этапа: биodeградация, деполимеризация, биоассимиляция и минерализация. На первом этапе образование микробной биопленки приводит к поверхностной деградации, при которой полимерный материал фрагментируется на более мелкие частицы. Микроорганизмы биопленки выделяют внеклеточные ферменты, которые, в свою очередь, катализируют деполимеризацию полимерной цепи в олигомеры, димеры или мономеры. Поглощение небольших молекул, полученных таким образом, микробной клеткой и последующее производство первичных и вторичных метаболитов представляет собой процесс, называемый ассимиляцией. На последнем этапе эти метаболиты минерализуются, и конечные продукты,

такие как CO_2 , CH_4 , H_2O и N_2 , образуются и высвобождаются в окружающую среду (Lucas, 2008).

Полимер может подвергаться трансформациям (механическим, световым, термическим и химическим) при воздействии атмосферных условий, что может влиять на механические свойства полимера, например, полимер может стать хрупким под воздействием УФ-излучения (Lucas, 2008). Другим основным путем химической деградации полимеров, содержащих гетероатомы, такие как сложные эфиры, ангидриды, амиды или уретаны, является гидролиз (Lucas, 2008). Объемная эрозия описывает деградацию, которая происходит равномерно по всей толщине полимерного изделия, а поверхностная эрозия описывает уменьшение толщины поверхности.

Поверхностная эрозия является преобладающим механизмом для гидрофобных и полукристаллических полимеров и для полимеров, показывающих очень высокую скорость гидролиза. Напротив, объемная эрозия происходит, когда скорость диффузии воды превышает скорость реакции гидролиза. Материал может изменить свой механизм гидролиза с поверхностной на объемную эрозию, когда толщина образца падает ниже критического значения, так называемой критической толщины образца $L_{\text{крит}}$ (Luc, 2009). В целом, форма материала играет важную роль, поскольку большая площадь поверхности будет способствовать деградации.

В отличие от многих других химических веществ, оценка воздействия полимеров на окружающую среду, как правило, не регламентируется. Поэтому экотоксикологические данные для биоразлагаемых полимеров скудны. Для компостируемых пластиков были установлены определенные стандарты и нормы, которые также включают требования к экотоксичности. Например, европейский стандарт EN 13432 требует данных о прорастании и росте растений. В этом контексте большинство опубликованных исследований сосредоточены на эффектах, которые могут возникнуть при применении определенных биоразлагаемых продуктов, таких как пластиковые пленки, используемые в сельском хозяйстве (Adhikari, 2016). Такие продукты тестируются на предмет их воздействия на почву или компост, в основном в сочетании с тестом на биоразложение. Эти сопряженные тесты и сроки оценки экотоксикологических эффектов важны, поскольку безопасный материал может стать токсичным во время деградации из-за определенных метаболитов или выделения вредных соединений, которые служат добавками в биоразлагаемых пластиках. В целом, полимерные добавки необходимо рассматривать отдельно при обсуждении токсичности разлагаемых пластиков.

Тем не менее, большинство исследований не описывали негативного воздействия продуктов деградации по-

лимеров. Однако Соуза и соавторы обнаружили цитотоксические и генотоксические воздействия продуктов деградации на луке репчатом (Souza, 2013). Аналогичным образом, Адхикари и соавторы выявили ингибирование микробной активности, вызванное пленками PLA после 84 дней инкубации в почве (Adhikari, 2016). Эти исследования демонстрируют некоторые ограничения: хотя они измеряли воздействие продуктов деградации в определенное время, они не предоставили информацию о компонентах, которые отвечают за токсичность. Недостающая информация необходима для дальнейшего изучения механизмов токсичности и производства безопасных биоразлагаемых пластиков.

Основным показателем биоразложения является уменьшение массы материала. Но данный процесс может быть интенсифицирован под воздействием ультрафиолетового излучения. В другом исследовании было доказано, что, после воздействия на полилактид, спектрограмма показала разрушение кристаллической структуры, приводящее к ухудшению показателей данного материала (Якубова, 2023).

Помимо использования биоразлагаемых полимеров в чистом виде их также соединяют в разных пропорциях с полиэтиленом. Так, например в исследовании группы российских ученых были произведены материалы с концентрацией полилактида от 20 до 100 % массы. По результатам исследования процесс деградации материала с потерей массы разными концентрациями был в районе 10 % (Подзорова, 2020).

Хотя большинство исследований не обнаружили неблагоприятного воздействия для различных организмов, можно сделать лишь ограниченное заявление об экологической совместимости биоразлагаемых полимеров. Положительные результаты требуют дальнейшего исследования, чтобы доказать, является ли сам полимер или добавки причиной неблагоприятного воздействия.

Перспективы использования биоразлагаемых полимеров как упаковочных материалов в пищевой промышленности

Упаковка для пищевых продуктов должна соответствовать ряду условий, таких как законодательство, безопасность, функциональность. Поскольку от нее требуется инновационность, простота в использовании и привлекательный дизайн, одной из основных задач упаковки в пищевой промышленности является защита продукта от химического, механического и микробиологического воздействия, а также сохранение свежести продукта и всей его питательной ценности.

Ключевым моментом в упаковке пищевых продуктов является то, что упаковка является неотъемлемой частью производства, консервации, хранения, дистрибуции, а в настоящее время и неотъемлемой частью приготовления пищевых продуктов. Свойства пищевого продукта возможно сохранить только с помощью надлежащим образом выбранной упаковки и технологического процесса упаковки. В последнее десятилетие в пищевой, упаковочной и дистрибьюторской промышленности возрос интерес к разработке и применению биополимеров для упаковки пищевых продуктов (Peelman, 2013).

В исследовании Ершовой и соавторов (2022) были рассмотрены полимерные материалы на основе ПЛА для применения в пищевой промышленности. Они доказали, что данный материал имеет лучшие физико-механические свойства в сравнении с синтетическими (Ершова, 2022). Это позволяет использовать биоразлагаемые полимеры, замещая синтетические. Модифицируя их возможно устранить недостатки сохранив полезные качества.

В другом исследовании российским ученым Поповой было установлено, что пленки из горохового крахмала являются предпочтительнее в сравнении с пленками на основе других видов крахмалов. Связано это с тем, что данные пленки содержат большее количество амилазы, что позволяет более активно им разлагаться в пищеварительной системе при их употреблении вместе с основным продуктом (Попова, 2022). В исследовании было показано, что салат, а также нарезанные овощи, плоды, зерна, бобовые и ягоды можно с успехом хранить в поддающихся биологическому разложению лотках из целлюлозы и капролактона. Такая упаковка устойчива к воздействию влаги, но хрупкая.

Биоразлагаемая упаковка содержащая серебро обладает антибактериальным действием. Серебро использовалось в борьбе с инфекциями еще в Древней Греции и Риме. В 19 веке ботаник фон Нагель доказал, что небольшие концентрации или частицы серебра положительно влияют на сохранность продуктов (Siva, 2022). Серебро сегодня используется в упаковке пищевых продуктов. Добавление серебра в упаковку позволяет дольше сохранять качество продуктов, улучшает их сохранность и повышает их безопасность. Серебро, как элемент при производстве биоразлагаемой упаковки, обладает антибактериальными свойствами. Оно повреждает клеточные стенки, клеточные мембраны и цитоплазму бактерий. Более поздние исследования показали, что серебро также влияет на репликацию ДНК. Серебро может быть включено в состав биополимера в виде чистого серебра, с серебряным покрытием или в виде микрочастиц. Биоразлагаемая пленка с серебром предпочтительнее любых других упаковочных материалов из-за ее эластичности и исключительной способности прилипать к фруктам. Он используется для

упаковки свежих фруктов и овощей, а также для хранения и транспортировки пищевых продуктов (Tokić, 2011, Otoni, 2016).

Использование различных модификаций привело к расширению использования съедобных и биоразлагаемых пленок, что связано с улучшением общих характеристик биополимеров, повышением их механических, термических и барьерных свойств, как правило, даже при очень низком содержании. Таким образом, модификаторы играют важную роль в повышении эффективности использования биополимеров, которые сокращают количество отходов упаковки, связанных с обработанными пищевыми продуктами, и способствуют сохранению продуктов, продлевая срок их хранения.

Тенденции развития и применение биоразлагаемых полимеров в медицине и фармацевтике

В настоящее время выбор биоматериалов играет ключевую роль в медицине и фармацевтике. В то время как классические критерии такие как безопасность и стабильность, являются основными параметрами, стало понятно, что их можно объединить под понятием инертность материала. В свою очередь любой искусственный материал, помещенный в организм пациента, не является абсолютно инертным и вызовет клеточный ответ (Langer, 2004).

Разработчикам биополимеров для медицины и фармацевтики важно иметь в своем распоряжении множество вариантов биоматериалов, поскольку для каждого применения требуется уникальная среда. Биополимеры также должны быть: технологичны в производстве; легко формируемые; иметь свойства, которые удовлетворяют краткосрочным требованиям и не влияют на долгосрочное функционирование; иметь низкую или незначительную токсичность продуктов распада, как с точки зрения местной реакции тканей, так и с точки зрения системной реакции; доставлять лекарственные средства, с возможностью длительного высвобождения фармацевтически активных соединений.

Полимеры биологического происхождения — это материалы, созданные живыми организмами, в отличие от синтетических материалов, созданных человеком. Это различие делит мир полезных с медицинской точки зрения биоразлагаемых полимеров на две большие подгруппы. Однако граница между этими группами не всегда четкая. В группу биополимеров биологического происхождения входят: пептиды, белки, биомиметические материалы, полисахариды, полигидроксиалканоаты и полинуклеотиды.

Пептиды и белки — это полимеры, полученные из встречающихся в природе α -L-аминокислот. Пептиды обычно представляют собой более короткие цепочки из десятков аминокислот, соединенных между собой амидными связями, в то время как белки представляют собой более длинные цепочки из сотен отдельных аминокислот.

Основным недостатком пептидов и белков в качестве исходных материалов является их низкая технологичность. Для данных биополимеров нельзя использовать традиционные методы переработки полимеров, используемых при производстве синтетических пластмасс: прессования, экструзии, литья под давлением и прядения волокон. Еще одним важным недостатком пептидов и белков как биоматериалов является присущая им иммуногенность. Любой пептид или белок несет в себе риск того, что иммунная система пациента распознает его как чужеродный. Также, большинство пептидов и белков обладают недостаточно высокими механическими свойствами, которые ограничивают их использование в медицине и фармацевтике. В Таблице 2 перечислены основные виды белков, используемых в данных целях.

Биомиметические материалы являются синтетическими (искусственными) материалами, имитирующими натуральные или повторяющие их. Пример для такого материала — это работа Урри и его коллег, которые использовали методы пептидного синтеза для создания искусственных вариантов эластина (Urry, 1995). Они синтезировали несколько полимеров, которые содержали гомологии последовательностей эластиновых повторов валин-пролин-глицин-валин-глицин. Эти биомиметические полимеры обладали лучшими инженерными свойствами, чем их природные аналоги, что позволяло создавать пленки и волокна, которые затем можно было дополнительно модифицировать путем сшивания. Полученные пленки обладали интересными механическими свойствами, такими как обратный фазовый переход, который приводит к сокращению при повышении температуры, напоминая работу мышц (Urry, 1995).

Другие исследователи, в частности Тирелл и Каппелло, объединили методы молекулярной биологии и биологии ферментации для создания новых биоматериалов на основе белка (Van Nest, 2001). Этим исследователям пришла в голову удивительно инновационная идея создания генетически модифицированных микроорганизмов, которые производили бы именно те полимеры, которые исследователям нравилось изучать. Таким образом, можно было бы получать совершенно новые варианты пептидов и белков биологического происхождения.

Другим биополимером используемым в медицине и фармацевтике являются полисахариды — это полимеры, состоящие из различных сахарных соединений. Используемые в промышленности полисахариды (та-

Таблица 2
Основные виды белков, используемых в медицине и фармацевтике
Table 2
Main Types of Proteins Used in Medicine and Pharmaceuticals

Белки	Источник	Функция
Коллаген	Выделенный из кожи крупного рогатого скота, рыбы и других видов животных	Ключевой компонент структуры тканей, обеспечивает механическую прочность, поддерживает структуру и рост клеток, обеспечивает биосовместимую матрицу для трансплантации клеток. Широко используется в качестве средства для растяжения и придания им объема в косметических продуктах
Желатин	Частично гидролизированный коллаген	Используется в пищевой промышленности, широко используется исследователями в качестве матрицы для роста клеток и в качестве компонента каркасов для тканевой инженерии.
Эластин	Выделен из эластичных тканей крупного рогатого скота и птиц	Ключевой компонент тканевой архитектуры, обеспечивающий эластичность тканей
Кератин	Выделяют из кожи, волос и ногтей крупного рогатого скота и птиц	Ключевой структурный компонент кожи, волос и ногтей. Используется в качестве матрицы для роста клеток, а также в качестве компонента бинтов и средств по уходу за кожей
Шелк	Выделен из личинок насекомых	Используется в текстильной промышленности из-за своей исключительной прочности. Также изучается как компонент каркасов для тканевой инженерии и как субстрат для культивирования клеток
Протеогликаны	Различные экстракты тканей	Используется в исследованиях клеточно-матричных взаимодействий, матрично-матричных связей, клеточной пролиферации, миграции клеток

кие как крахмал и целлюлоза) представляют собой полимеры, содержащие исключительно различные сахара (сахариды) звенья в виде мономеров. Как правило, большинство природных полисахаридов не поддаются биологическому разложению при имплантации в любые клетки. млекопитающих из-за недостатка пищеварительных ферментов. Таким образом, без дальнейшей химической модификации большинство полисахаридов не являются очевидным выбором для использования в биомедицинских целях.

Полигидроксиалканоаты (ПГА) представляют собой группу сополимеров гидроксимасляной кислоты и гидроксивалериановой кислоты применяются для контролируемого высвобождения лекарств, изготовления искусственной кожи и сердечных клапанов, а также для промышленного применения, например, в качестве расходных материалов для парамедицины.

Алифатические полиэфиры, изготовленные из гидроксикислот, таких как гликолевая кислота, молочная кислота и ε-гидроксикапроновая кислота, используются в различных медицинских изделиях. В качестве примера можно привести биорассасывающиеся хирургические нити, изготовленные из поли(α-гидроксикислот), которые используются в клинической практике с 1969 года (Pillai, 2010).

Также в исследовании Туреевой был использован полимер натрий-карбоксиметилцеллюлоза для стоматологических пленок. Ими был отработан оптимальный состав, который позволял получить необходимые качественные показатели с использованием основного свойства данного полимера-биоразлагаемость (Туреева, 2024).

В другом исследовании L-лактид полимеризировался под воздействием катализатора и сохранял свои свойства биоразложения. Это позволяло изменять скорость его затвердевания и конечную массу при использовании в шивных тканях и ортопедии (Пучков и соавт., 2023).

Полиуретаны, полимеры, в которых повторяющийся элемент содержит уретановый фрагмент, были впервые получены компанией Bayer в 1937 году. Эти полимеры обычно получают в результате взаимодействия диизоцианата с полиолом. Обычными полиолами являются простые полиэфиры. Полиуретаны уже почти 50 лет используются в биомедицине, в частности, в качестве материала, контактирующего с кровью, в сердечно-сосудистых устройствах. Исследования структуры и состава полиуретана привели к разработке биоразлагаемых полиуретанов для различных применений в тканевой инженерии, таких как реконструкция менисков, восстановление миокарда и сосудистых тканей (Guan, 2005).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существует широкий выбор биоразлагаемых полимеров с различными видами структур, что обеспечивает предпосылки к созданию новых видов композиционных упаковочных материалов, обладающих способностью к биоразложению в окружающей среде. С целью расширения области применения, функционала и безопасности необходимо проведение дальнейших исследований биоразлагаемых материалов.

При проведении ряда исследований были получены положительные результаты об экологической совместимости ряда биоразлагаемых полимеров. Модификация способствует улучшению свойств биополимеров, повышению их механических, термических и барьерных свойств, в том числе при очень низком содержании, расширению применения съедобных и биоразлагаемых пленок. Таким образом, введение модификаторов способствует повышению эффективности использования биополимеров, сокращению количества отходов упаковочных материалов для пищевых продуктов, и способствуют пролонгации сроков хранения.

Последние научные достижения в области технологии полимерных материалов открывают большие перспективы для достижения высокой степени биоразлагаемости с меньшим количеством загрязняющих веществ и выбросов парниковых газов.

ЛИТЕРАТУРА

Аникеева, К. Г., Сафин, Р. Р., & Хайруллин, Р. З. (2024). Подбор оптимального состава термопластичного крахмала для получения биоразлагаемой твердой упаковки В *Повышение энергоресурсоэффективности, экологической и технологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности*, Т. 2, (с. 39–56).

Anikeeva, K. G., Safin, R. R., & Khairullin, R. Z. (2024). Selection of the optimal composition of thermoplastic starch for obtaining biodegradable solid packaging In *Improving energy and resource efficiency, environmental and technological safety of processes and equipment in the chemical and related industries*, Vol. 2, (pp. 39–56). (In Russ.)

Ершова, О. В., Муллина, Э. Р., Бессонова, Ю. А., & Багреева, К. В. (2022). Исследование свойств синтетических и биоразлагаемых полимеров, с целью возможности их использовани в пищевой отрасли. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*,

ВКЛАД АВТОРОВ

Баженов Н.С.: проведение исследования, создание черновика рукописи, рецензирование и редактирование рукописи

Губанова М.И.: концептуализация, руководство исследованием

Кириш И.А.: разработка методологии исследования

Банникова О.А.: курирование данных, верификация данных

Дымицкий В.А.: проведение исследования

AUTHORS CONTRIBUTION STATEMENT

Nilita S. Bazhenov: investigation, writing-original draft preparation, writing-review and editing

Marina I. Gubanov: conceptualization, supervision, project administration

Irina A. Kirsh: methodology

Olga A. Bannikova: data curation, data verification
Viktor A. Dymitsky: investigation

84(1), 245–251. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-1-245-251>

Ershova, O. V., Mullina, E. R., Bessonova, J. A., & Bagreeva, K. V. (2022). Investigation of the properties of synthetic and biodegradable polymers, with a view to the possibility of their use in the food industry. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 84(1), 245–251. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-1-245-251> (In Russ.)

Подденежный, Е. Н., Дробышевская, Н. Е., Бойко, А. А., Шаповалов, В. М., & Кузьмин, А. М. (2024). Биоразлагаемые композиционные материалы на основе поликапролактона с наполнением соломой зерновых культур. *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого*, 97(2), 27–33. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-2-27-33>

Poddeneznyi, E. N., Drobyshevskaya, N. E., Boika, A. A., Shapovalov, V. M., & Kuzmin, A. M. (2024). Biodegradable composite materials based on polycaprolactone filled with grain

- straw. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 97(2), 27–33. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-2-27-33> (In Russ.)
- Подзорова, М. В., Тертышная, Ю. В., Шибряева, Л. С., & Зиборов, Д. М. (2020). Влияние агрессивных факторов окружающей среды на деструкцию биоразлагаемых полимерных композитов. В *Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии* (pp. 434–435). <https://doi.org/10.17223/9785946219242/271>
- Podzorova, M. V., Tertyshnaya, Yu. V., Shibryaeva, L. S., & Ziborov, D. M. (2020). Influence of aggressive environmental factors on the destruction of biodegradable polymer composites. In *Physical mesomechanics. Materials with multilevel hierarchically organized structure and intelligent manufacturing technologies* (pp. 434–435). <https://doi.org/10.17223/9785946219242/271> (In Russ.)
- Попова, О. С. (2022). Биоразлагаемые пленки на основе смеси крахмала-карбоксиметилцеллюлозы для пищевой промышленности. В *Потребительский рынок: устойчивое развитие в условиях новых вызовов* (с. 173–178). <https://doi.org/10.48642/3583.2022.31.28.001>
- Popova, O. S. (2022). Biodegradable films based on a starch-carboxymethylcellulose mixture for the food industry. In *Consumer market: sustainable development in the face of new challenges* (p. 173–178). <https://doi.org/10.48642/3583.2022.31.28.001> (In Russ.)
- Пучков, А. А., Седуш, Н. Г., Чиркова, А. С., Бозин, Т. Н., & Чвалун, С. Н. (2023). Синтез биоразлагаемых полимеров на основе L-лактида в присутствии безметаллового органического катализатора. *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*, 65(4), 265–274. <https://doi.org/10.31857/S230811392370050X>
- Puchkov, A. A., Sedush, N. G., Chirkova, A. S., Bozin, T. N., & Chvalun, S. N. (2023). Synthesis of biodegradable polymers based on L-lactide in the presence of a metal-free organic catalyst. *VysokomolekulâRnye Soedineniâ. Seria B, Himiâ Polimerov*, 65(4), 265–274. <https://doi.org/10.31857/S230811392370050X> (In Russ.)
- Туреева, Г. М. (2024) Разработка оптимального состава стоматологических полимерных пленок метронидазола с облепиховым маслом. *Farmatsiya*, (3), 36–40.
- Tureeva, G. M. (2024). Development of the optimal composition of dental polymer films of metronidazole with sea buckthorn oil. *Farmatsiya*, (3), 36–40. (In Russ.)
- Унгуряну, Т. Н., Жамалиева, Л. М., & Гржибовский, А. М. (2019). Краткие рекомендации по подготовке систематических обзоров к публикации. *West Kazakhstan Medical Journal*, 61(1), 26–36.
- Unguryanu, T. N., Zhamaliyeva, K. M., & Grjibovski, A. M. (2019). Brief recommendations on how to write and publish systematic reviews. *West Kazakhstan Medical Journal*, 61(1), 26–36. (In Russ.)
- Якубова, Л. Ю., Селезнева, Л. Д., Дмитриенко, А. О., & Подзорова, М. В. (2023). Изменение структуры биоразлагаемых полимеров под влиянием агрессивных факторов окружающей среды. *Известия Кабардино-балкарского государственного университета*, (3), 119–124.
- Yakubova, L. Yu., Selezneva, L. D., Dmitrienko, A. O., & Podzorova, M. V. (2023). Changes in the structure of biodegradable polymers under the influence of aggressive environmental factors. *Bulletin of the Kabardino-Balkarian State University*, (3), 119–124. (In Russ.)
- Abdullah, Z. W., Dong, Y., Davies, I. J., & Barbhuiya, S. (2017). PVA, PVA blends, and their nanocomposites for biodegradable packaging application. *Polymer-Plastics Technology And Engineering*, 56(12), 1307–1344. <https://doi.org/10.1080/03602559.2016.1275684>
- Adhikari, D., Mukai, M., Kubota, K., Kai, T., Kaneko, N., Araki, K. S., & Kubo, M. (2016). Degradation of bioplastics in soil and their degradation effects on environmental microorganisms. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 5(01), 23–34. <https://doi.org/10.4236/jacen.2016.51003>
- Aslam, M., Kalyar, M. A., & Raza, Z. A. (2018). Polyvinyl alcohol: A review of research status and use of polyvinyl alcohol based nanocomposites. *Polymer Engineering & Science*. <https://doi.org/10.1002/pen.24855>
- Azeredo, H. M. C., Barud, H., Farinas, C. S., Vasconcellos, V. M., & Claro, A. M. (2019). Bacterial cellulose as a raw material for food and food packaging applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00007>
- Ben Halima, N. (2016). Poly(vinyl alcohol): Review of its promising applications and insights into biodegradation. *RSC Advances*, 6(46), 39823–39832. <https://doi.org/10.1039/c6ra05742j>
- Chandra, R. (1998). Biodegradable polymers. *Progress in Polymer Science*, 23(7), 1273–1335. [https://doi.org/10.1016/s0079-6700\(97\)00039-7](https://doi.org/10.1016/s0079-6700(97)00039-7)
- Corradini, E., Curti, P., Meniqueti, A., Martins, A., Rubira, A., & Muniz, E. (2014). Recent advances in food-packing, pharmaceutical and biomedical applications of zein and zein-based materials. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(12), 22438–22470. <https://doi.org/10.3390/ijms151222438>
- Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 367–392. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>
- Fredriksson, H., Silverio, J., Andersson, R., Eliasson, A.-C., & Åman, P. (1998). The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate Polymers*, 35(3–4), 119–134. [https://doi.org/10.1016/s0144-8617\(97\)00247-6](https://doi.org/10.1016/s0144-8617(97)00247-6)
- Gaaz, T., Sulong, A., Akhtar, M., Kadhum, A., Mohamad, A., & Al-Amieri, A. (2015). Properties and applications of polyvinyl alcohol, halloysite nanotubes and their nanocomposites.

- Molecules*, 20(12), 22833–22847. <https://doi.org/10.3390/molecules201219884>
- Gross, R. A., & Kalra, B. (2002) Biodegradable polymers for the environment. *Green Chemistry*, 297, 803–807.
- Guan, J., Fujimoto, K. L., Sacks, M. S., & Wagner, W. R. (2005). Preparation and characterization of highly porous, biodegradable polyurethane scaffolds for soft tissue applications. *Biomaterials*, 26(18), 3961–3971. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2004.10.018>
- Haider, T. P., Völker, C., Kramm, J., Landfester, K., & Wurm, F. R. (2018). Plastics of the future? The impact of biodegradable polymers on the environment and on society. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(1), 50–62. <https://doi.org/10.1002/anie.201805766>
- Jacobsen, S., & Fritz, H. G. (1999). Plasticizing polylactide: The effect of different plasticizers on the mechanical properties. *Polymer Engineering and Science*. 39(7), 1303–1310.
- Kampeerappun, P., Aht-ong Duangdao, Pentrakoon, D., & Srikulkit, K. (2007). Preparation of cassava starch/montmorillonite composite film. *Carbohydrate Polymers*, 67(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.05.012>
- Ke, T. Y., & Sun, X. Z. (2000). Physical properties of poly(lactic acid) and starch composites with various blending ratios. *Cereal Chemistry*, 77(6), 761–768.
- Kenawy, E.-R., Worley, S. D., & Broughton, R. (2007). The chemistry and applications of antimicrobial polymers: A state-of-the-art review. *Biomacromolecules*, 8(5), 1359–1384. <https://doi.org/10.1021/bm061150q>.
- Langer, R., & Tirrell, D. A. (2004). Designing materials for biology and medicine. *Nature*, 428(6982), 487–492. <https://doi.org/10.1038/nature02388>
- Lucas, N., Bieniaime, C., Belloy, C., Queneudec, M., Silvestre, F., & Nava-Saucedo, J.-E. (2008). Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques – A review. *Chemosphere*, 73(4), 429–442. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.06.064>
- Lyu, S., & Untereker, D. (2009). Degradability of polymers for implantable biomedical devices. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(9), 4033–4065. <https://doi.org/10.3390/ijms10094033>
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Hinrichsen, G. (2000). Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, 276/277, 1–24.
- Naushad Emmambux, M., & Stading, M. (2007). In situ tensile deformation of zein films with plasticizers and filler materials. *Food Hydrocolloids*, 21(8), 1245–1255. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.09.013>
- Otoni, C. G., Espitia, P. J. P., Avena-Bustillos, R. J., & McHugh, T. H. (2016). Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads. *Food Research International*, 83, 60–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.02.018>
- Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L., Van Impe, F., & Devlieghere, F. (2013). Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 32(2), 128–141. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.003>
- Peterson, K., Nielsen, P. V., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M. B., Nilsson, N. H., & Mortensen, G. (1999). Potential of biobased materials for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 10, 52–68.
- Pillai, C. K. S., & Sharma, C. P. (2010). Review paper: Absorbable polymeric surgical sutures: chemistry, production, properties, biodegradability, and performance. *Journal of Biomaterials Applications*, 25(4), 291–366. <https://doi.org/10.1177/0885328210384890>
- Rajwade, J. M., Paknikar, K. M., & Kumbhar, J. V. (2015). Applications of bacterial cellulose and its composites in biomedicine. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99, 2491–2511. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6426-3>.
- Ratnayake, W. S., Hoover, R., Shahidi, F., Perera, C., & Jane, J. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 74(2), 189–202. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(01\)00124-8](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(01)00124-8)
- Reiniati, I., Hrymak, A. N., & Margaritis, A. (2017). Recent developments in the production and applications of bacterial cellulose fibers and nanocrystals. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37, 510–524. <https://doi.org/10.1080/07388551.2016.1189871>
- Rhim, J.-W., Park, H.-M., & Ha, C.-S. (2013). Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*, 38(10–11), 1629–1652. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008>
- Rivelilson, M. de F. (2014). Technological development and evaluation on sialagogue activity of a spray-like liquid formulation of pilocarpine. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 8(35), 868–674. <https://doi.org/10.5897/ajpp2014.4027>
- Ruka, D. R., Simon, G. P., & Dean, K. M. (2012). Altering the growth conditions of *Gluconacetobacter xylinus* to maximize the yield of bacterial cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 89, 613–622. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.03.059>
- Saini, I., Sharma, A., Dhiman, R., Aggarwal, S., Ram, S., & Sharma, P. K. (2017). Grafted SiC nanocrystals: For enhanced optical, electrical and mechanical properties of polyvinyl alcohol. *Journal of Alloys and Compounds*, 714, 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.04.183>
- Shukla, R., & Cheryan, M. (2001). Zein: the industrial protein from corn. *Industrial Crops and Products*, 13(3), 171–192. [https://doi.org/10.1016/s0926-6690\(00\)00064-9](https://doi.org/10.1016/s0926-6690(00)00064-9)
- Siva, P., Tareq, M. A., & Shameli, K. (2022). Biodegradable polymers for packaging: A bibliometric overview of the publication in web of science in year 2012–2021. *Journal of Research in*

- Nanoscience and Nanotechnology*, 5(1), 29–42. <https://doi.org/10.2376/0003-925X-68-26>
- Souza, P. M. S., Morales, A. R., Marin-Morales, M. A., & Mei, L. H. I. (2013). PLA and montmorillonite nanocomposites: Properties, biodegradation and potential toxicity. *Journal of Polymers and the Environment*, 21(3), 738–759. <https://doi.org/10.1007/s10924-013-0577-z>
- Tang, X. Z., Kumar, P., Alavi, S., & Sandeep, K. P. (2012). Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposites for food packaging materials. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(5), 426–442. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.500508>
- Tokić, I., Fruk, G., & Jermić, T. (2011). Biorazgradiva ambalaža za čuvanje voća i drugih hortikulturnih proizvoda: materijali, svojstva i učinak na kakvoću. *Journal of Central European Agriculture*, 12(1), 226–238.
- Tripathi, S., Mehrotra, G. K., & Dutta, P. K. (2009). Physicochemical and bioactivity of cross-linked chitosan–PVA film for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 45(4), 372–376. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2009.07.00>
- Urry, D. W. (1995). Elastic biomolecular machines. *Scientific American*, 272(1), 64–69.
- Van Hest, J. C. M., & Tirrell, D. A. (2001). Protein-based materials, toward a new level of structural control. *Chemical Communications*, 19, 1897–1904. <https://doi.org/10.1039/b105185g>
- Vieira, M. G. A., da Silva, M. A., dos Santos, L. O., & Beppu, M. M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*, 47(3), 254–263. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011>
- Wang, J., Tavakoli, J., & Tang, Y. (2019). Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods — a review. *Carbohydrate Polymers*, 219, 63–76. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.05.008>
- Xu, Y., Liu, X., Jiang, Q., Yu, D., Xu, Y., Wang, B., & Xia, W. (2021). Development and properties of bacterial cellulose, curcumin, and chitosan composite biodegradable films for active packaging materials. *Carbohydrate Polymers*, 260, 117778. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117778>
- Zaikova, A., Deviatkin, I., Havukainen, J., Horttanainen, M., Astrup, T. F., Saunila, M., & Happonen, A. (2022). Factors Influencing Household Waste Separation Behavior: Cases of Russia and Finland. *Recycling*, 7(4), 52. <https://doi.org/10.3390/recycling7040052>