Пищевые системы

Food systems

DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-1-13-18 Оригинальная статья/Research article

УДК 637.1 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование физико-химических свойств сублимированной метабиотической пищевой системы

Светлана И. Васильева [1] provotorova-svetlana@mail.ru 0009-0006-4734-7361
Маргарита С. Бондарь [1]
Екатерина А. Пожидаева [1] katerina 77707@mail.ru 0000-0001-6763-8875
Евгений С. Попов [1] e_s_popov@mail.ru 0000-0003-3303-3434
Яна А. Дымовских [1] dymovskih.yana@ya.ru 0000-0002-0498-7522
Юлия В. Дурова [1] durova525@mail.ru 0009-0002-1484-3351

1 Воронежский государственный университет, Университетская площадь, 1, г. Воронеж, 394018, Россия
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Метабиотические пищевые системы представляют собой комплекс из не жизнеспособных пробиотических микроорганизмов и продуктов их прижизненного метаболизма, которые сохраняют стабильность в широком диапазоне значений pH и температуры. При этом сублимированные метабиотические субстанции имеют неоптимальные физико-химические характеристики, связанные с высокой гигроскопичностью, неудовлетворительной сыпучестью, что затрудняет промышленное применение данных систем. С целью обоснования применения сублимированной метабиотической субстанции в технологии твердых форм и для дальнейшего ее использования в области разработки и производства новой обогащенной биологически активными веществами, специализированной, в том числе диетической, пищевой продукции были изучены физико-химические и технологические характеристики. Анализ показателей сыпучести и угла естественного откоса показал неоптимальные значения для исследуемой метабиотической пищевой формы, численные значения исследуемых параметров составили 2,6 г/с и 35 и 57,5 град, влагосодержание соответствовало величине 14,99%. На основе данных ситового анализа установлено, что исследуема лиофилизированная метабиотическая субстанция является неоднородной, степень измельченности варирует от среднемелкого до очень мелкого, что подтверждается показателями низкой сыпучести. Расчетные значения коэффициентов Хауснера и Карра для метабиотической субстанции составили 2,35 и 57,45, что свидетельствует о недостаточной способности притяжения и сцепления под давлением. В результате экспериментальных испытаний установлено, что исследуемая субстанция имеет неоптимальные технологические свойства, что определяет целесообразность применения технологии влажной грануляции для разработки рациональных форм и последующего применения в пищевой промышленности.

Ключевые слова: метабиотики, технологические свойства, фракционный состав, насыпная плотность, сыпучесть, угол естественного откоса, влагосодержание, твердые формы.

Study of physicochemical properties of sublimated metabiotic food system

Svetlana I. Vasilyeva [1] provotorova-svetlana@mail.ru 0009-0006-4734-7361
Margarita S. Bondar [1]
Ekaterina A. Pozhidaeva [1] katerina 77707@mail.ru 0000-0001-6763-8875
Evgeny S. Popov [1] e_s_popov@mail.ru 0000-0003-3303-3434
Yana A. Dymovskikh [1] dymovskih.yana@ya.ru 0000-0002-0498-7522
Yulia V. Durova [1] durova525@mail.ru 0009-0002-1484-3351

1 Voronezh State University, University Square, 1 Voronezh, 394018, Russia
2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Metabiotic food systems are a complex of non-viable probiotic microorganisms and products of their lifetime metabolism, which maintain stability in a wide range of pH and temperature values. At the same time, sublimated metabiotic substances have suboptimal physicochemical characteristics associated with high hygroscopicity, unsatisfactory flowability, which complicates the industrial use of these systems. In order to justify the use of sublimated metabiotic substance in the technology of solid forms and for its further use in the development and production of new biologically active substances, specialized, including dietary, food products, physicochemical and technological characteristics were studied. Analysis of the flow and angle of repose parameters showed suboptimal values for the studied metabiotic food form, the numerical values of the studied parameters were 2,6 g/s and 35 and 57,5 degrees, the moisture content corresponded to 14,99%. Based on the sieve analysis data, it was established that the lyophilized metabiotic substance under study is heterogeneous, the degree of grinding varies from medium to very small, which is confirmed by low flowability indicators. The calculated Hausner and Carr coefficients for the metabiotic substance were 2,35 and 57,45, indicating insufficient attraction and adhesion under pressure. As a result of experimental tests, it was established that the substance under study has suboptimal technological properties, which determines the feasibility of using wet granulation technology for the development of rational forms and subsequent use in the food industry.

Keywords: metabiotics, technological properties, fractional composition, bulk density, flowability, angle of repose, moisture content, solid forms.

Для цитирования
Васильева С.И., Бондарь М.С., Пожидаева Е.А., Попов Е.С., Дымовских Я.А., Дурова Ю.В. Исследование физико-химических свойств сублимированной метабиотической пищевой системы // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 1. С. 13–18. doi:10.20914/2310-1202-2026-1-13-18

For citation
Vasilyeva S.I., Bondar M.S., Pozhidaeva E.A., Popov E.S., Dymovskikh Y.A., Durova Yu.V. . Study of physicochemical properties of sublimated metabiotic food system. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 1. pp. 13–18. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-1-13-18

© 2026, Васильева С.И. и др. / Vasilyeva S.I. et al.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Пробиотические пищевые системы, несмотря на высокую терапевтическую эффективность, характеризуются рядом ограничений к применению. Введение живых микроорганизмов сопряжено с определенными рисками, особенно для лиц, имеющих нарушенный состав микрофлоры, слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта. Введение живых бактерий также не рекомендовано для проходящих хирургические вмешательства, а также для детей с дисбактериозом кишечника и дефицитом полезных пробиотических микроорганизмов. В связи с этим актуальным направлением развития пищевых технологий является получение метабиотических комплексов с прогнозируемым физиологическим эффектом на организм человека. Метабиотики представляют собой комплекс из не жизнеспособных пробиотических микроорганизмов и продуктов их прижизненного метаболизма, биологически активных соединений, к которым относятся короткоцепочечные жирные кислоты, экзополисахариды и другие метаболиты. Помимо вышеуказанного, метабиотики могут включать метаболические и секреторные продукты, которые образуются в процессе культивирования и непосредственно перед фазой инактивации. Эти биологически активные продукты включают в себя различные соединения, такие как: витамины, необходимые для ряда метаболических функций, тейхоевую кислоту, которая способствует сохранению целостности клеточных стенок бактерий, бактериоцины, обладающие антимикробными свойствами, ферменты и пептиды, которые жизненно важны для многочисленных биохимических процессов в организме [1–3].

Биологически активные соединения, вырабатываемые пробиотическими микроорганизмами, играют решающую роль в модуляции В-клеточных иммунных ответов. В частности, по результатам ряда исследований подтверждены иммуномодулирующие функции короткоцепочечных жирных кислот. Помимо вышеуказанного, данные кислоты способны стимулировать дифференцирование плазмы В-клеток, модулируя экспрессию генов для выработки антител, таких как IgG и IgA. Дополнительный механизм проявления иммуномодулирующих функций, связан с регулированием активности В-клеток и соотносится с метаболитами триптофана – группой значимых постбиотиков [4, 5].

По ряду исследований подтверждается эффективность метабиотиков в профилактике и лечении различных заболеваний полости рта, таких как кариес зубов, вызванный, в частности, патогеном *Streptococcus mutans*. Помимо вышеуказанного, метабиотики обладают преимуществами перед пробиотиками с точки зрения производства и применения, поскольку метабиотики практически не взаимодействуют с компонентами пищевого матрикса при хранении, что гарантированно пролонгирует срок годности пищевой системы. Метабиотические субстанции сохраняют стабильность в широком диапазоне значений pH и температуры, что позволяет добавлять их в пищевые системы перед тепловой обработкой, а также в продукты с высокой кислотностью. Применение метабиотиков устраняет необходимость в хранении и транспортировке в регулируемых температурных условиях, что снижает себестоимость конечного продукта [6–8].

Метабиотическая терапия основана на введении в пищевые системы одного или нескольких микробиологических метаболитов (короткоцепочечных жирных кислот, метаболитов фенольного происхождения, ферментов, экзополисахаридов, витаминов, ароматических аминокислот, бактериальных лизатов, а также бесклеточных супернатантов, которые содержат секретируемые микробные метаболиты). В частности, противовоспалительное и антиоксидантное действие на эпителиальные клетки кишечника оказывали супернатанты Lactobacillus casei (снижение секреции TNF-α и увеличения секреции IL-10). Научно подтверждена эффективность бутирата – короткоцепочечной жирной кислоты, увеличивающей экспрессию иммуносупрессивных цитокинов и подавляющей некоторые цитокины и провоспалительные рецепторы [9–11].

Безопасность использования, высокая биологическая (в т. ч. антимикробная) активность, уникальная и сложная химическая структура экзополисахаридов наделяют их ценным и значимым потенциалом. В настоящее время экзополисахариды применяют в качестве противоопухолевых, иммуностимулирующих, иммуномодулирующих и антиоксиданстных агентов в фармацевтической промышленности, а также в качестве функциональных компонентов в пищевой промышленности, способствующихулучшению реологических и структурно-механических свойств пищевых систем.

Гидрофильная природа экзополисахаридов позволяет снизить поглощение масла в продукте, что приобретает особенную актуальность для потребителей с повышенным весом, избыточным холестерином, страдающих жировой дистрофией печени и т. д. Экзополисахариды, синтезируемые молочно-кислыми бактериями, оказывают противомикробное и антиоксидантное действие, что увеличивает потенциал

их применения в пищевой промышленности (консервирование, упаковка). В частности, отмечена антибактериальная активность экзополисахаридов, экстрагированных от пробиотических штаммов *Bifidobacterium bifidum* и *Lactiplantibacillus plantarum* в отношении широкого ряда патогенов, включающих *C. sakazakii, E. coli, L. monocytogenes, S. aureus, C. albicans, B. cereus, S. typhimurium, S. sonnei*.

Потенциал промышленного применения экзоплисахаридов основан на использовании последних в качестве загустителей, разрыхлителей, эмульгаторов, стабилизаторов, водосвязывающих, влагоудерживающих, желирующих и придающих вязкость агентов. Применение лабораторно полученных экзополисахаридов в пищевых продуктах может способствовать сокращению использования технологических добавок с сопутствующей оптимизацией производства и удовлетворением запросов потребителей, заинтересованных в здоровом питании [12–15].

Улучшение с помощью экзополисахаридов текстурных и сенсорных характеристик приобретает особенное значение при производстве молочных продуктов с пониженным содержанием жира, а также продуктов с заместительными ингредиентами (молоко растительного происхождения и т. п.) вследствие возможности негативного восприятия данных продуктов потребителем с позиции качества.

Установлено, что синтез влагосвязывающих метаболитов пробиотиками изменяется (активируется) при неблагоприятных условиях окружающей среды, в частности при использовании термической инактивации.

Таким образом, целью работы является изучение физико-химических и технологических свойств сублимированных метабиотических субстанций, для оценки возможности оптимизации свойств и прогнозирования последующего включения в состав различных пищевых форм.

Методы и материалы

В качестве объекта исследования принят консорциум лакто – и бифидобактерий *Str. thermophiles (B-8328), B. bifidum (AC-1579), B. longum (AC-1257), B. adolescentis (AC-1245), L. acidophilus (B-5097), L. plantarum (B-3962), L. fermentum (B-2875)*, предоставленных биоресурсным центром – «Всероссийская коллекция промышленных микроорганизмов» (БРЦ ВКПМ), НИЦ «Курчатовский институт». Культивирование биомассы проводили на обезжиренном молоке в диапазоне температур 38–40 °С до достижения значений титруемой и активной кислотности в диапазоне 86–88°Т и 4,60–4,64 ед. соответственно, нормативное время ферментации составляло 6–8 часов. Концентрация активных клеток в биомассе составляла не менее 10^9 КОЕ/мл. Инактивирование полученной биомассы проводили при температуре 75±2° С с последующей выдержкой в течении 50 мин и охлаждением до 4±2 °С. Вакуум-сублимационную сушку полученной метабиотической субстанции проводили с помощью лиофильной сушилки BK-FD10S.

С целью теоретического обоснования оптимизации свойств метабиотической субстанции для дальнейшего ее использования в разработке рациональной формы ее применения были изучены физико-химические и технологические свойства (содержание влаги, сыпучесть, насыпная масса, плотность, форма и размер частиц, угол естественного откоса, гранулометрический состав) и рассчитаны величины индексов Карра и Хауснера.

Содержание влаги в метабиотической субстанции проводилось в соответствии с требованиями ОФС.1.2.1.0010.15 «Потеря в массе при высушивании» и фармакопеи ЕАЭС 2010220031–2019 «Потеря в массе при высушивании»; определение гранулометрического состава проводилось в соответствии с ОФС.1.4.2.0032 «Ситовой анализ» и фармакопеи ЕАЭС 201100008–2022 «Оценка распределения частиц по размеру методом аналитического просеивания», 201100009–2022 «Измельченность порошков» с помощью стандартных набор сит, соответствующих требования ISO 3310–1, методом механического просеивания; согласно ОФС.1.4.2.0024 «Насыпная плотность и плотность после уплотнения» и фармакопеи ЕАЭС 201100003–2022 «Насыпная плотность и плотность после уплотнения» определяли насыпную плотность методом измерения в градуированном цилиндре; по ОФС.1.4.2.0016 «Сыпучесть порошков» и фармакопеи ЕАЭС 201100001–2022 «Сыпучесть» определяли сыпучесть и угол естественного откоса; форму и размер частиц определяли в соответствие с ОФС.1.2.1.0009 «Оптическая микроскопия» с помощью микроскопа «Биомед».

Результаты и обсуждение

Результаты определения технологических характеристик лиофилизированной метабиотической субстанции, полученные в результате измерений 6 образцов, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Технологические и физико-химические свойства лиофилизированной метабиотической субстанции

Table 1.

Technological and physicochemical properties of lyophilized metabiotic substance

Характеристика | Indicator			Значение | Value
Форма частиц | Particle shape			Равносторонние, пластинчатые Equilateral, lamellar
Поверхность частиц | Particle Surface			Преобладает шероховатая поверхность, но имеются также частицы с гладкой поверхностью без налипаний Rough surface predominates, but there are also particles with a smooth surface without adhesion
Размеры частиц, мм* | Particle sizes, mm*			0,52 x 0,43
Сыпучесть, г/с* | Flowability, g/s*			2,63
Насыпная плотность, г/мл Bulk density, g/ml	Количество соскоков при уплотнении Number of jumps during compaction	0	0,20
		10	0,24
		500	0,34
		1250	0,36
		2500	0,47
Фракционный состав, % Fractional composition, %	Размер частиц, мм Particle size, mm	> 3	0,90
		2–3	0,50
		1–2	6,62
		0,5–1	18,72
		0,2–0,5	39,14
		<0,2	33,90
Угол естественного откоса, град | Slope angle, deg			57,5
Влагосодержание, % | Moisture content, %			14,99
Внутренняя пористость | Internal porosity			2,87
Коэффициент Хауснера | Hausner coefficient			2,35
Коэффициент Карра | Carr coefficient			57,45

** Увеличение микроскопа 10х; * Диаметр воронки – 10 мм*

** Microscope magnification 10x; * Funnel diameter – 10 mm*

Анализируя результаты технологических и физико-химических свойств метабиотической системы можно сделать вывод о низких технологических свойствах субстанции. Сыпучесть составила 2,6 г/сек, при этом не весь порошок самотеком высыпался из воронки прибора, часть его зависала, что соответствует низкой сыпучести. Показатель угла естественного откоса имеет значение 57,5 градусов, что также подтверждает соответствие низкой сыпучести. Результаты ситового анализа отражают, что порошок неоднородный, степень измельченности варьирует от среднемелкого до очень мелкого, что подтверждается показателями низкой сыпучести. Основываясь на определениях насыпной плотности, рассчитаны коэффициенты Карра и Хауснера, по величинам которых оценен показатель прессуемости, как очень плохой. Данные значения информируют о недостаточной способности притяжения и сцепления под давлением за счет слабых молекулярных, адсорбционных, электростатических и механических сил.

На основании полученных результатов исследования установлено, что при дозировании субстанции в любую потребительскую форму (капсулы, таблетки) и движении материала по трубопроводу, как в матричное отверстие таблеточной машины, так и для дозирования в капсулы не представляется возможным без других веществ или изменения технологических характеристик исходного материала.

Заключение

Изучены технологические и физико-химические свойства сублимированной метабиотической субстанции – технологические характеристики оценены как неудовлетворительные, что определяет целесообразность использования метода влажной грануляции для разработки рациональной формы сцелью последующей реализации продукта в виде биологически активных добавок, лечебного питания и других видов продукции.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00369, https://rscf.ru/project/25-26-00369/.

Литература

1 Salminen S., Collado M.C., Endo A. et al. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics // Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. 2021. V. 18. № 9. P. 649–667.

2 Sabahi S., Homayouni Rad A., Aghebati-Maleki L. et al. Postbiotics as the new frontier in food and pharmaceutical research // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2023. V. 63. № 26. P. 8375–8402.

3 Rad A.H., Aghebati-Maleki L., Kafil H.S. et al. Potential pharmaceutical and food applications of postbiotics: A review // Current Pharmaceutical Biotechnology. 2020. V. 21. № 15. P. 1576–1587. doi: 10.2174/1389201021666200516154833

4 Zhao X., Zhang F., Chen Z. et al. Unlocking the power of postbiotics: A revolutionary approach to nutrition for humans and animals // Cell Metabolism. 2024. V. 36. № 4. P. 725–744.

5 Maftei N.M., Bujor A.I., Cojocaru D. et al. The potential impact of probiotics on human health: an update on their health-promoting properties // Microorganisms. 2024. V. 12. № 2. P. 234. doi: 10.3390/microorganisms12020234

6 Fuochi V., Furneri P.M. Applications of probiotics and their potential health benefits // International Journal of Molecular Sciences. 2023. V. 24. № 21. P. 15915. doi: 10.3390/ijms242115915

7 Hijova E. Postbiotics as metabolites and their biotherapeutic potential // International Journal of Molecular Sciences. 2024. V. 25. № 10. P. 5441. doi: 10.3390/ijms25105441

8 Zhou P., Yang D., Zhang B. et al. Recent advances and potentiality of postbiotics in the food industry: Composition, inactivation methods, current applications in metabolic syndrome, and future trends // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2024. V. 64. № 17. P. 5768–5792. doi: 10.1080/10408398.2022.2158174

9 Shakoor R., Wang T., Zhang Y. et al. Novel strategies for extraction, purification, processing, and stability improvement of bioactive molecules // Journal of Basic Microbiology. 2023. V. 63. № 3-4. P. 276–291. doi: 10.1002/jobm.202200401

10 Prajapati N., Kathad U., Sheth N. et al. Postbiotic production: Harnessing the power of microbial metabolites for health applications // Frontiers in Microbiology. 2023. V. 14. P. 1306192. doi: 10.3389/fmicb.2023.1306192

11 Mishra B., Kumar R., Sahu A.R. et al. Postbiotics: The new horizons of microbial functional bioactive compounds in food preservation and security // Food Production, Processing and Nutrition. 2024. V. 6. P. 56. doi: 10.1186/s43014-023-00200-w

12 Liu C., Liu Z., He Y. et al. From probiotics to postbiotics: Concepts and applications // Animal Research and One Health. 2023. V. 1. № 1. P. 92–114. doi: 10.1002/aro2.7

13 Liang B., Xing D. The current and future perspectives of postbiotics // Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2023. V. 15. № 6. P. 1626–1643. doi: 10.1007/s12602-023-10045-x

14 Liu H., Chen W., Zhang W. et al. Progress on Research and Application of Postbiotics // Food Science. 2024. V. 45. № 1. P. 326–333. doi: 10.7506/spkx1002-6630-20221229-272

15 Meena K.K., Sharma S., Sharma M. et al. Comprehensive insights into postbiotics: Bridging the gap to real-world application // Food & Nutrition. 2025. V. 1. № 2. P. 100024. doi: 10.1016/j.fnutr.2025.100024

16 Сорокин О.В., Ильина А.В., Смирнов В.В. Биологическая активность и терапевтический потенциал метабиотиков // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2025. Т. 11. № 2. С. 224–236.

17 Еселевич Р.В., Суров Д.А., Герасимов Д.Г. и др. Сравнительная оценка составов метабиотиков и их показаний к применению у пациентов в острых и хронических критических состояниях // Политравма. 2024. № 4. С. 75–84.

18 Ткаченко Е.И., Дадали В.А. Метабиотики — новое направление эффективной профилактики и лечения заболеваний // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2023. № 12 (220). С. 4–18.

19 Speckmann B., Vulevic J., Klinder A. et al. Exploring substrate–microbe interactions: a metabiotic approach toward developing targeted synbiotic compositions // Gut Microbes. 2024. V. 16. № 1. P. 2305716.

20 Aragón-Rojas S., Quintanilla-Carvajal M.X., Hernández-Sánchez H. Sublimation conditions as critical factors during freeze-dried probiotic powder production // Drying Technology. 2020. V. 38. № 3. P. 333–349.

21 Fan L., Wang Y., Xu X. et al. Effects of different drying methods on the physicochemical properties, antioxidant activity and gut microbiota fermentation behaviours of polysaccharides from Schizophyllum commune // Food Research International. 2025. V. 200. P. 118000.

References

1 Salminen S., Collado M.C., Endo A. et al. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. 2021. vol. 18. no. 9. pp. 649–667.

2 Sabahi S., Homayouni Rad A., Aghebati-Maleki L. et al. Postbiotics as the new frontier in food and pharmaceutical research. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2023. vol. 63. no. 26. pp. 8375–8402.

3 Rad A.H., Aghebati-Maleki L., Kafil H.S. et al. Potential pharmaceutical and food applications of postbiotics: A review. Current Pharmaceutical Biotechnology. 2020. vol. 21. no. 15. pp. 1576–1587. doi: 10.2174/1389201021666200516154833

4 Zhao X., Zhang F., Chen Z. et al. Unlocking the power of postbiotics: A revolutionary approach to nutrition for humans and animals. Cell Metabolism. 2024. vol. 36. no. 4. pp. 725–744.

5 Maftei N.M., Bujor A.I., Cojocaru D. et al. The potential impact of probiotics on human health: an update on their health-promoting properties. Microorganisms. 2024. vol. 12. no. 2. p. 234. doi: 10.3390/microorganisms12020234

6 Fuochi V., Furneri P.M. Applications of probiotics and their potential health benefits. International Journal of Molecular Sciences. 2023. vol. 24. no. 21. p. 15915. doi: 10.3390/ijms242115915

7 Hijova E. Postbiotics as metabolites and their biotherapeutic potential. International Journal of Molecular Sciences. 2024. vol. 25. no. 10. p. 5441. doi: 10.3390/ijms25105441

8 Zhou P., Yang D., Zhang B. et al. Recent advances and potentiality of postbiotics in the food industry: Composition, inactivation methods, current applications in metabolic syndrome, and future trends. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2024. vol. 64. no. 17. pp. 5768–5792. doi: 10.1080/10408398.2022.2158174

9 Shakoor R., Wang T., Zhang Y. et al. Novel strategies for extraction, purification, processing, and stability improvement of bioactive molecules. Journal of Basic Microbiology. 2023. vol. 63. no. 3-4. pp. 276–291. doi: 10.1002/jobm.202200401

10 Prajapati N., Kathad U., Sheth N. et al. Postbiotic production: Harnessing the power of microbial metabolites for health applications. Frontiers in Microbiology. 2023. vol. 14. p. 1306192. doi: 10.3389/fmicb.2023.1306192

11 Mishra B., Kumar R., Sahu A.R. et al. Postbiotics: The new horizons of microbial functional bioactive compounds in food preservation and security. Food Production, Processing and Nutrition. 2024. vol. 6. p. 56. doi: 10.1186/s43014-023-00200-w

12 Liu C., Liu Z., He Y. et al. From probiotics to postbiotics: Concepts and applications. Animal Research and One Health. 2023. vol. 1. no. 1. pp. 92–114. doi: 10.1002/aro2.7

13 Liang B., Xing D. The current and future perspectives of postbiotics. Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2023. vol. 15. no. 6. pp. 1626–1643. doi: 10.1007/s12602-023-10045-x

14 Liu H., Chen W., Zhang W. et al. Progress on Research and Application of Postbiotics. Food Science. 2024. vol. 45. no. 1. pp. 326–333. doi: 10.7506/spkx1002-6630-20221229-272

15 Meena K.K., Sharma S., Sharma M. et al. Comprehensive insights into postbiotics: Bridging the gap to real-world application. Food & Nutrition. 2025. vol. 1. no. 2. p. 100024. doi: 10.1016/j.fnutr.2025.100024

16 Sorokin O.V., Ilyina A.V., Smirnov V.V. Biological activity and therapeutic potential of metabiotics. Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry. 2025. vol. 11. no. 2. pp. 224–236. (in Russian)

17 Eselevich R.V., Surov D.A., Gerasimov D.G. et al. Comparative assessment of metabiotic compositions and their indications for use in patients in acute and chronic critical conditions. Polytrauma. 2024. no. 4. pp. 75–84. (in Russian)

18 Tkachenko E.I., Dadali V.A. Metabiotics — a new direction for effective prevention and treatment of diseases. Experimental and Clinical Gastroenterology. 2023. no. 12 (220). pp. 4–18. (in Russian)

19 Speckmann B., Vulevic J., Klinder A. et al. Exploring substrate–microbe interactions: a metabiotic approach toward developing targeted synbiotic compositions. Gut Microbes. 2024. vol. 16. no. 1. p. 2305716.

20 Aragón-Rojas S., Quintanilla-Carvajal M.X., Hernández-Sánchez H. Sublimation conditions as critical factors during freeze-dried probiotic powder production. Drying Technology. 2020. vol. 38. no. 3. pp. 333–349.

21 Fan L., Wang Y., Xu X. et al. Effects of different drying methods on the physicochemical properties, antioxidant activity and gut microbiota fermentation behaviours of polysaccharides from Schizophyllum commune. Food Research International. 2025. vol. 200. p. 118000.

Сведения об авторах

Светлана И. Васильева к.фарм.н., доцент, кафедра фармацевтической технологии, Воронежский государственный университет, Университетская площадь, д. 1, г. Воронеж, 394018, Россия, provotorova-svetlana@mail.ru
https://orcid.org/0009-0006-4734-7361

Маргарита С. Бондарь асистент, кафедра фармацевтической технологии, Воронежский государственный университет, Университетская площадь, д. 1, г. Воронеж, 394018, Россия

Екатерина А. Пожидаева к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katerina 77707@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6763-8875

Евгений С. Попов д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, e_s_popov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3303-3434

Яна А. Дымовских аспирант, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, dymovskih.yana@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0498-7522

Юлия В. Дурова студент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, durova525@mail.ru
https://orcid.org/0009-0002-1484-3351

Information about authors

Svetlana I. Vasilyeva Cand. Sci. (Ph.), assistant professor, department of pharmaceutical technology, Voronezh State University, University Square, 1 Voronezh, 394018, Russia, provotorova-svetlana@mail.ru
https://orcid.org/0009-0006-4734-7361

Margarita S. Bondar assistant, department of pharmaceutical technology, Voronezh State University, University Square, 1 Voronezh, 394018, Russia

Ekaterina A. Pozhidaeva Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, department of animal products technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katerina 77707@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6763-8875

Evgeny S. Popov Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, e_s_popov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3303-3434

Yana A. Dymovskikh graduate student, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dymovskih.yana@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0498-7522

Yulia V. Durova student, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, durova525@mail.ru
https://orcid.org/0009-0002-1484-3351

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 08/12/2025	**После редакции** 25/12/2025	**Принята в печать** 13/01/2026
Received 08/12/2025	**Accepted in revised** 25/12/2025	**Accepted** 13/01/2026