

РАЗРАБОТКА РАСТИТЕЛЬНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ АДАПТАЦИИ И МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРОБИОТИЧЕСКИХ МИКРООРГАНИЗМОВ В ТЕХНОЛОГИИ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ НАПИТКОВ

С.П. Меренкова, merenkovasp@susu.ru

Э. Аль Ассаад, elassaadelias9@gmail.com

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Для увеличения срока хранения, стабильности пищевой системы, питательной полноценности, сенсорной приемлемости растительных альтернатив молока разрабатываются и внедряются передовые «зеленые» технологии, в том числе с применением биотехнологических подходов. Целью данного исследования являлось обоснование применения растительной матрицы на основе семян конопли и соевых бобов в качестве субстрата для адаптации и метаболической активности пробиотических микроорганизмов. В полученную растительную матрицу интегрировали комплексную закваску «Бифидо-плюс» и монокультуру – *Lactobacillus acidophilus*. Ферментацию напитков проводили в течение 16 часов при $T = 36\text{--}38\text{ }^{\circ}\text{C}$. В напитках на основе семян конопли уровень pH активно снижался в период с 4 до 12 часов с 5,46 до 4,67. В напитках на основе соевой суспензии уровень pH активно снижался в период с 8 до 16 часов (с 5,28 до 4,55). *Lactobacillus acidophilus* наиболее интенсивно накапливали кислотность. Содержание молочной кислоты в напитках возрастало в 5,0–9,5 раз по сравнению с контролем. Ацидофильные бактерии продуцировали органические кислоты наиболее интенсивно, а соевая основа являлась более благоприятным субстратом для развития обеих типов заквасок. Показатели: вязкость напитка, содержание сухого вещества и количество белка – положительно коррелировали, соответственно, в напитках на основе соевых бобов при ферментации комплексной закваской бифидобактерий установлены наиболее высокие значения данных индикаторов. Наибольшая концентрация полифенолов обнаружена в соевых напитках, ферментированных бифидобактериями, концентрация полифенольных соединений увеличилась на 43,6 %. Растительная матрица напитков на основе соевых бобов и семян конопли является благоприятным и сбалансированным субстратом для адаптации бифидобактерий и ацидофильных бактерий. Ферменты микроорганизмов активно проявляют метаболическую активность на растительном субстрате, накапливая органические кислоты, белковые компоненты, ферменты, а также способствуют повышению биодоступности нативных компонентов семян и бобов.

Ключевые слова: семена конопли, соевые бобы, растительная матрица, альтернативы молока, пробиотические закваски, адаптация, ферментация

Для цитирования: Меренкова С.П., Аль Ассаад Э. Разработка растительной матрицы для адаптации и метаболической активности пробиотических микроорганизмов в технологии ферментированных напитков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2025. Т. 13, № 4. С. 54–61. DOI: 10.14529/food250406

Original article

DOI: 10.14529/food250406

DEVELOPMENT OF A PLANT MATRIX FOR ADAPTATION AND METABOLIC ACTIVITY OF PROBIOTIC MICROORGANISMS IN FERMENTED BEVERAGE TECHNOLOGY

S.P. Merenkova, merenkovasp@susu.ru**E. Al Assaad**, elassaadelias9@gmail.com

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. To enhance the shelf life, stability, nutritional completeness, and sensory acceptability of plant-based milk alternatives, advanced “green” technologies, including biotechnological approaches, are being developed and implemented. The aim of this study was to substantiate the use of a plant matrix based on hemp seeds and soybeans as a substrate for the adaptation and metabolic activity of probiotic microorganisms. The complex starter culture “*Bifido-plus*” and the monoculture *Lactobacillus acidophilus* were integrated into the plant matrix. Beverage fermentation was carried out for 16 hours at $T = 36\text{--}38\text{ }^{\circ}\text{C}$. In the hemp seed-based beverages, the pH level decreased actively from 5.46 to 4.67 between 4 and 12 hours. In the soybean-based beverages, the pH level decreased actively from 5.28 to 4.55 between 8 and 16 hours. *Lactobacillus acidophilus* demonstrated the most intensive acid accumulation. The lactic acid content in the beverages increased by 5.0–9.5 times compared to the control. Acidophilic bacteria produced organic acids most intensively, and the soybean matrix proved to be a more favorable substrate for the development of both types of starter cultures. The indicators of beverage viscosity, dry matter content, and protein quantity were positively correlated. The highest values for these indicators were established in soybean-based beverages fermented with the complex *Bifidobacteria* starter culture. The highest concentration of polyphenols was detected in soy-based beverages fermented with *Bifidobacteria*, where the concentration of polyphenolic compounds increased by 43.6%. The plant matrix based on soybeans and hemp seeds is a favorable and balanced substrate for the adaptation of *bifidobacteria* and *acidophilic bacteria*. Microbial enzymes actively exhibit metabolic activity on the plant substrate, accumulating organic acids, protein components, and enzymes; they contribute to increasing the bioavailability of the native components of the seeds and beans.

Keywords: hemp seeds, soybeans, plant matrix, milk alternatives, probiotic starter cultures, adaptation, fermentation

For citation: Merenkova S.P., Al Assaad E. Development of a plant matrix for adaptation and metabolic activity of probiotic microorganisms in fermented beverage technology. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 54–61. (In Russ.) DOI: 10.14529/food250406

Введение

Напитки на растительной основе – альтернативы молока – быстрорастущий сегмент в категории специализированных напитков. В настоящее время такие физиологические и этические аспекты, как аллергия на молочный белок, непереносимость лактозы, распространенность гиперхолестеринемии, предпочтение вегетарианской диеты и стремление к экологичному производству, – заставляют потребителей по всему миру выбирать альтернативы коровьему молоку. Растительными источниками для таких видов «немолока» являются

бобовые, масличные, злаковые, орехоплодные и другие культуры, которые служат основой для широкого спектра ассортимента напитков – альтернатив молочных продуктов [1, 2].

Согласно данным аналитической компании “Global Market Insights” в 2024 г. рынок альтернативного «молока» оценивался в 29,5 млрд долларов США, эксперты прогнозируют ежегодный прирост более чем на 10 % в течение десяти лет. Объем рынка альтернативных напитков в России составляет 50,9 тыс. т, прогнозируется среднегодовой темп роста потребления напитков на растительной основе

около 38 % в год. Лидерами среди компаний, производящих напитки на растительной основе, являются: «Сады Придонья» (“NeMoloko”), «ЭФКО» (“Hi!”), «Союзпищепром» (“Green Milk”) и «Полома» (“Naala”) [3].

Биохимический состав и физико-химические характеристики пищевой матрицы служат ключевыми детерминантами для установления режимов технологической обработки. Критическое значение имеют такие параметры, как количественное содержание и структурная организация белков, липидов и углеводов, а также уровень антипитательных соединений. Критериями для выбора сырья при производстве растительных напитков выступают: сбалансированность нутриентного профиля, степень усвояемости белков, насыщенность функциональными ингредиентами (витаминами, β -глюканами, ПНЖК), а также технологическая целесообразность его применения [4, 5].

Для решения задач, связанных с увеличением срока хранения, стабильностью эмульсии, питательной полноценностью и сенсорной приемлемостью растительных альтернатив молока, разрабатываются и внедряются передовые «зеленые» технологии, предполагающие применение методов ультразвуковой обработки, гомогенизации под сверхвысоким давлением, обработки импульсным электрическим полем [6, 7].

Перспективные направления включают использование ферментативного гидролиза и микробной ферментации для улучшения функционально-технических свойств и органолептических характеристик растительных напитков [8]. Ферментативные процессы занимают центральное место в технологии производства растительных альтернатив молочных продуктов, определяя их органолептический профиль, повышая биодоступность питательных веществ и усиливая функциональные свойства. Применение специальных штаммов микроорганизмов в сочетании с оптимизацией параметров ферментации позволяет целенаправленно увеличивать концентрацию физиологически активных соединений. Кроме того, ферментация выступает эффективным барьером против микробной контаминации и способствует продлению сроков хранения продукции [9, 10].

Биотехнологические подходы при переработке зернового и масличного сырья демонстрируют высокую эффективность в сниже-

нии содержания антипитательных веществ (фитиновой кислоты, ингибиторов протеаз, оксалатов и танинов) и минимизации токсичных компонентов [11]. Подтверждена взаимосвязь между регулярным потреблением ферментированных растительных продуктов и снижением риска развития алиментарно-зависимых заболеваний, включая ожирение, сердечно-сосудистые патологии, сахарный диабет 2-го типа, а также профилактикой осложнений при онкологических заболеваниях [12, 13].

Современная практика контролируемой ферментации базируется на применении стандартизированных стартовых культур – штаммов молочнокислых бактерий, дрожжей, мицелиальных грибов. Индустриальный подход предусматривает селекцию микроорганизмов, адаптированных к конкретным типам растительных матриц, что обеспечивает управляемость, ускорение и стандартизацию технологического процесса. Продуцируемые заквасочными культурами метаболиты формируют уникальные вкусоароматические характеристики ферментированных продуктов растительного происхождения [14, 15].

Соя – традиционный вид сырья для получения заменителей молока; бобы сои богаты белками (до 40 %), липидами (до 20 %), ПНЖК, изофлавонами и растворимыми пищевыми волокнами. Доказано, что продукты на основе соевого белка способны регулировать уровень общего холестерина, липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) и триглицеридов в крови. Производство соевого молока было впервые зафиксировано около 2000 лет назад в Китае, в настоящее время в зависимости от концентрации сухих веществ и применяемых пищевых ингредиентов ассортимент соевых альтернатив молока насчитывает более 20 наименований [16, 17].

Семена конопли характеризуются высокой питательной ценностью. содержит около 25 % белка, до 30 % липидов, богаты витамином Е (до 929,67 мг/кг) и витамином А (до 78,0 мг/кг), что усиливает их антиоксидантный потенциал. Количество и соотношение омега-6 и омега-3 ПНЖК в семенах конопли соответствует идеальному балансу для организма человека [18]. В дополнение к преимуществам данных видов растительного сырья доказано, что суспензия на основе соевых бобов и семян конопли является сбалансированным субстратом для роста и метаболической

активности пробиотических микроорганизмов [19].

Целью данного исследования являлось обоснование применения растительной матрицы напитков на основе семян конопли и соевых бобов в качестве субстрата для адаптации и метаболической активности пробиотических штаммов микроорганизмов.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на базе научно-исследовательской лаборатории ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)». Объектами исследования являлись суспензии на основе бобов сои и семян конопли и получаемые на ее основе растительные напитки.

Для приготовления растительной основы промывали и замачивали бобы / семена на 12 часов при температуре 32 °С, затем смешивали измельченное сырье с бутилированной водой в соотношении 1:5 (по массе); гомогенизировали при нагревании до 50 °С в течение 60–90 минут. После центрифугирования вносили закваску в полученную суспензию.

В полученную растительную матрицу интегрировали пробиотические ферментирующие агенты; было произведено 6 экспериментальных образцов для дальнейшего исследования. Для ферментации растительной основы использовали два вида пробиотической закваски в рекомендуемых производителем концентрациях: комплексная закваска «Бифидоплюс» (*S. salivarius ssp. thermophilus*, *B. adolescentis*, *B. bidum*, *B. breve*, *B. longum*, *B. animalis ssp. lactis*) – 1 г/л, монокультура – *Lactobacillus acidophilus* – 0,1 г/л (ООО «Бак-Здрав», Москва).

Ферментацию растительных напитков проводили в течение 16 часов при рекомендуемых производителем температурных режимах ($T = 36\text{--}38\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для анализа кинетики и интенсивности биохимических и метаболических процессов исследовали активную кислотность (уровень pH) через 4; 8; 12 и 16 часов ферментации.

По окончании процесса ферментации исследовали индикаторы:

- содержание сухого вещества, %;
- концентрация молочной кислоты, г/100 мл;
- динамическая вязкость, мПа·с;
- содержание полифенолов, мг экв. галловой кислоты.

Все показатели исследовали по общепринятым методикам.

Результаты исследования и обсуждение

Накопление кислотности в процессе ферментации биологической системы влияет на ингибирование патогенной микрофлоры, воздействует на срок годности и способствует формированию вкусоароматического профиля ферментированных напитков.

В период ферментации в образцах, содержащих закваску, наблюдалось активное снижение уровня pH вследствие гидролиза крахмалистых полисахаридов, образования доступных сахаров и накопления первичных продуктов метаболизма бактерий – органических кислот.

В напитках на основе семян конопли уровень pH снижался более выраженно в период с 4 до 12 часов с 5,46 до 4,67, достигая на конечной точке значения 4,43. В напитках на основе соевой суспензии уровень pH активно снижался в более поздний период ферментации с 8 до 16 часов (с 5,28 до 4,55). Было установлено, что *Lactobacillus acidophilus* наиболее интенсивно накапливали кислотность как в матрице на основе соевых бобов, так и семян конопли (рис. 1).

При мониторинге биохимических индикаторов наблюдали значительное накопление молочной кислоты в напитках в период ферментации – содержание лактата возрастало в 5,0–9,5 раз по сравнению с неферментированными образцами. Более того, ацидофильные бактерии продуцировали органические кислоты наиболее интенсивно в процессе метаболизма, а соевая основа являлась более благоприятным субстратом для развития обеих типов заквасок.

Такие показатели, как вязкость напитка, содержание сухого вещества и количество белка положительно коррелировали, соответственно, в напитках на основе соевых бобов при их ферментации комплексной закваской бифидобактерий установлены наиболее высокие значения данных индикаторов. Эти результаты обусловлены более высокой концентрацией гидрофильных полисахаридов в напитках на основе соевой суспензии, способных структурировать водную основу, создавая доступную питательную основу для адаптации микроорганизмов. Кроме того, вследствие высокого уровня адаптации бифидобактерий, более активного метаболизма микроорганизмы эффективно продуцируют ферменты, белковые

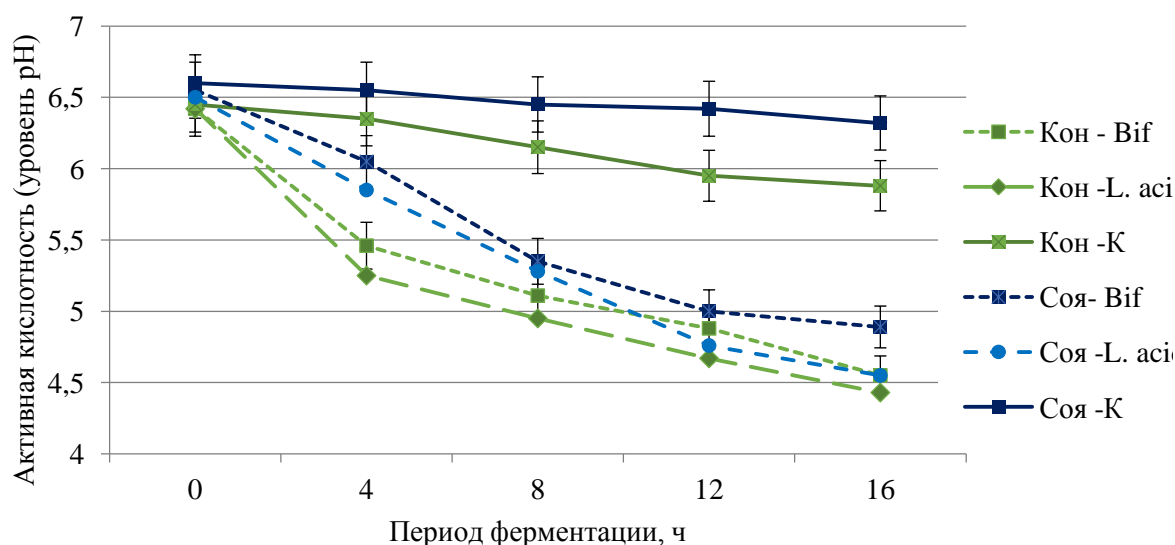


Рис. 1. Динамика активной кислотности ферментированных напитков

компоненты, экзополисахариды, что и повлияло на улучшение структуры и нутритивного профиля напитков (см. таблицу; рис. 2).

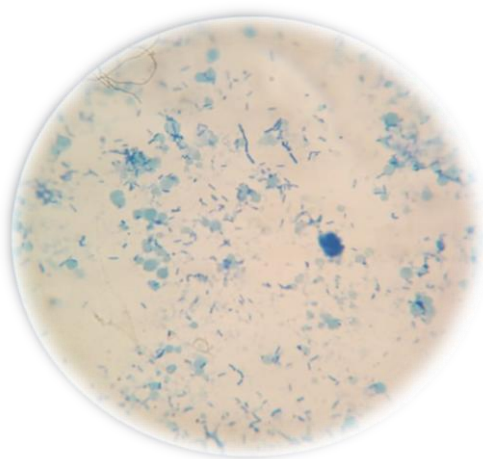
Семена конопли и соевые бобы богаты биологически активными соединениями, такими как полифенолы, к которым относят и флавоноиды сои – изофлавоны. В нашем эксперименте наибольшая концентрация полифенольных соединений была обнаружена в напитках на основе сои, ферментированных

бифидобактериями. Кроме того, общая концентрация полифенолов в данных образцах увеличилась на 43,6 % по сравнению с контролем. Для напитков на основе семян конопли более интенсивное высвобождение полифенолов установлено при ферментации *Lactobacillus acidophilus* – на 32,7 % выше по сравнению с контрольным неферментированным напитком (рис. 3).

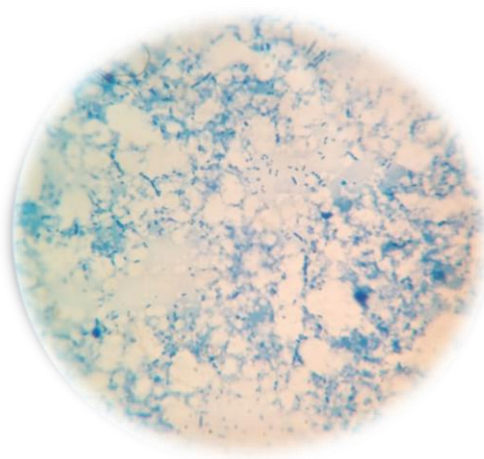
Положительное влияние микробной фер-

Биохимические индикаторы ферментированных напитков

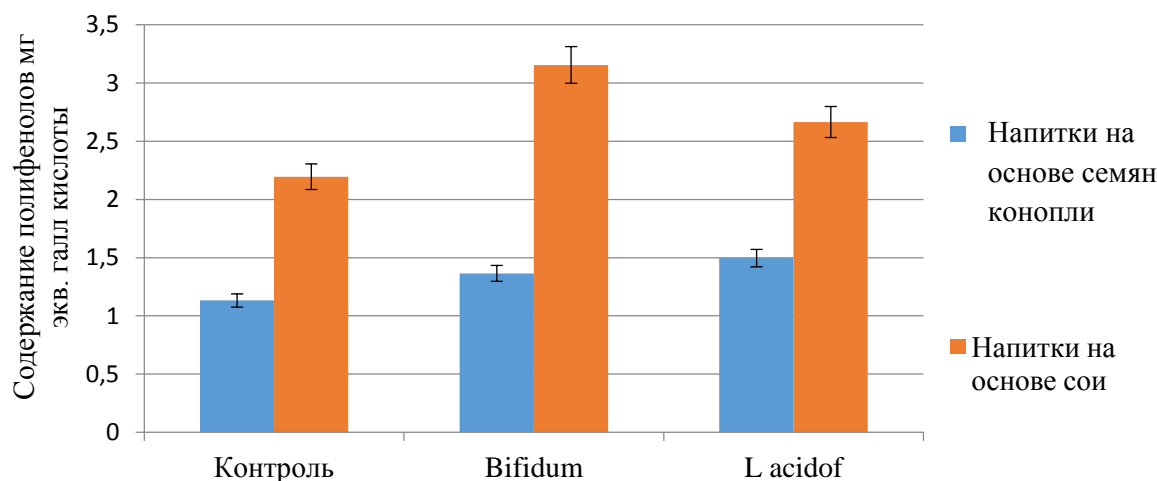
Индикаторы	Вид закваски /результаты исследования		
	без ферментации	«Бифидо-плюс»	<i>L. acidophilus</i>
Напитки на основе семян конопли			
Концентрация молочной кислоты, г/100 ml	0,18 ± 0,03	0,99 ± 0,05	1,17 ± 0,06
Динамическая вязкость, mPa·s	1,29 ± 0,05	5,97 ± 0,06	3,79 ± 0,15
Содержание сухого вещества, %	4,67 ± 0,28	6,15 ± 0,67	5,31 ± 0,25
Содержание белка, г/100 г	1,67 ± 0,12	2,25 ± 0,15	2,07 ± 0,14
Напитки на основе сои			
Концентрация молочной кислоты, г/100 ml	0,37 ± 0,02	1,84 ± 0,06	1,96 ± 0,07
Динамическая вязкость, mPa·s	4,42 ± 0,25	13,22 ± 0,70	10,42 ± 0,55
Содержание сухого вещества, %	5,70 ± 0,48	7,55 ± 0,59	6,65 ± 0,067
Содержание белка, г/100 г	2,67 ± 0,21	3,87 ± 0,35	3,07 ± 0,34

*Lactobac.
acidophilus*

Напитки на основе семян конопли



Напитки на основе сои

Рис. 2. Морфология *Lactobac. acidophilus* в образцах ферментированных напитков при увеличении x100**Рис. 3. Содержание общих полифенольных соединений в растительных альтернативах молока**

ментации на содержание полифенолов и флавоноидов описано в многочисленных исследованиях. Стартовые культуры повышают растворимость и экстрагируемость полифенольных соединений, способствуют их высвобождению из гликозилированных белковых комплексов, биосинтезируют ряд полифенолов [20, 21].

Заключение

Заменители молочных продуктов на растительной основе, ферментированные пробиотическими штаммами микроорганизмов, являются перспективным направлением в пищевой индустрии. Технологии, основанные на биотехнологических методах обработки, открывают новые возможности для создания

продуктов с оптимальным нутриентным профилем и улучшенными потребительскими свойствами.

Растительная матрица напитков на основе соевых бобов и семян конопли является благоприятным и сбалансированным субстратом для адаптации бифидобактерий и ацидофильных бактерий. Ферменты данных микроорганизмов активно проявляют метаболическую активность на растительном субстрате, накапливая органические кислоты, белковые компоненты, ферменты, а также способствуют повышению биодоступности нативных компонентов семян и бобов, улучшают органолептический профиль и структуру ферментированных продуктов.

Список литературы / References

1. Collard K.M., McCormick D.P. A nutritional comparison of cow's milk and alternative milk products. *Academic pediatrics*, 2021, vol. 21, iss. 6, pp. 1067–1069. DOI: 10.1016/j.acap.2020.12.007
2. Gonçalves G.C.V., Weis C.M.S.C., Wolff É.R., Alves V. [et al.]. Vegan fermented drinks as an alternative to milk: Trend or challenge? *Food Science and Engineering*, 2025, pp. 1–26. DOI: 10.37256/fse.6120255396.
3. Aleksanochkin D.I. et al. Plant-based beverages: An overview of raw materials and production technologies. *Vestnik of MSTU*, 2025, vol. 28, no. 3, pp. 371–384. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2025-28-3-371-384
4. Merenkova S., Fatkullin R., Kalinina I. Effect of fermentation on the biochemical parameters antioxidant capacity and dispersed composition of plant beverages based on barley and hemp seeds. *Fermentation*, 2022, vol. 8, iss. 8, pp. 384. DOI: 10.3390/fermentation8080384
5. Mäkinen O.E., Wanhalinna V., Zannini E., Arendt E.K. Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2016, vol. 56, iss. 3, pp. 339–349. DOI: 10.1080/10408398.2012.761950.
6. Gogulenko A.V., Egorova E.Y., Tsyganok S.N., Kuz'mina S.S. Effect of Ultrasonic Treatment on the Characteristics of Model Emulsion Systems Based on High-Protein Vegetable Raw Materials. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2023, vol. 96, iss. 2, pp. 218–227. DOI: 10.1134/s1070427223020132.
7. Bocker R., Silva E.K. Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. *Future Foods*, 2022, vol. 5, p. 100098. DOI: 10.1016/j.fufo.2021.100098.
8. Trufkati L.V., Kaprelyants L.V., Pozhitkova L.G. Biotechnology of soya multi-component functional ingredients. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 2021, vol. 21, iss. 2. DOI: 10.15673/gpmf.v21i2.2186.
9. McClements D.J., Newman E., McClements I.F. Plant-based milks: A review of the science underpinning their design, fabrication, and performance. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2019, vol. 18, iss. 6, pp. 2047–2067. DOI: 10.1111/1541-4337.12505
10. Adebo J.A., Njobeh P.B., Gbashi S., Oyedele O.M., Oyeyinka S.A., Adebo O.A. Fermentation of Cereals and Legumes: Impact on Nutritional Constituents and Nutrient Bioavailability. *Fermentation*, 2022, vol. 8, p. 63. DOI: 10.3390/fermentation8020063.
11. Razak D.L.A., Rashid N.Y.A., Jamaluddin A. et al. Enhancement of phenolic acid content and antioxidant activity of rice bran fermented with *Rhizopus oligosporus* and *Monascus purpureus*. *Biocatal. Agric. Biotechnol*, 2015, vol. 4, pp. 33–38. DOI: 10.1016/j.bcab.2014.11.003
12. Ahsan F., Imran M., Gilani S. A., Bashir S. et al. Effects of dietary soy and its constituents on human health: a review. *Biomedical Journal*, 2018, vol. 12, iss. 2, pp. 9182–9187. DOI: 10.26717/BJSTR.2018.12.002239
13. Silva A.R.A., Silva M.M.N., Ribeiro B.D. Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*, 2020, vol. 131, p. 108972. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108972.
14. Merenkova S.P., Rezanova M.A. Technological aspects of producing fermented beverages with antioxidant properties based on grain raw materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 1, pp. 76–85. (In Russ.) DOI: 10.14529/food220109
15. Wu H., Liu H.-N., Ma A.-M., Zhou J.Z., Xia X.-D. Synergetic effects of *Lactobacillus plantarum* and *Rhizopus oryzae* on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of whole-grain oats (*Avena sativa* L.) during solid-state fermentation. *LWT*, 2022, vol. 154, p. 112687. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112687.
16. Shori A.B., Al Zahrani A.J. Non-dairy plant-based milk products as alternatives to conventional dairy products for delivering probiotics. *Food Science and Technology*, 2021, vol. 42, p. e101321. DOI: 10.1590/fst.101321
17. Banaszkiwicz T. Nutritional value of soybean meal. *Soybean and nutrition*, 2011, vol. 2011, pp. 1–20. DOI: 10.5772/23306

18. Beşir A., Awad N., Mortaş M. A Plant-Based Milk Type: Hemp Seed Milk. *Akademik Gıda*, 2022, vol. 20, iss. 2, pp. 170–181. DOI: 10.24323/akademik-gida.1149875
19. Szparaga A., Tabor S., Kocira S., Czerwińska E. [et al.]. Survivability of probiotic bacteria in model systems of non-fermented and fermented coconut and hemp milks. *Sustainability*, 2019, vol. 11, iss. 21, pp. 6093. DOI: 10.3390/su11216093.
20. Pandey S., Poonia A. Plant-based milk substitutes: A novel non-dairy source. *Innovations in Food Technology: Current Perspectives and Future Goals*, 2020, pp. 63–71. DOI: 10.1007/978-981-15-6121-4_6.
21. Chavan M., Gat Y., Harmalkar M., Waghmare R. Development of non-dairy fermented probiotic drink based on germinated and ungerminated cereals and legume. *LWT*, 2018, vol. 91, pp. 339–344. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.01.070

Информация об авторах

Меренкова Светлана Павловна, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; merenkovasp@susu.ru

Аль Ассаад Эльяс, магистрант, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; elassaadelias9@gmail.com

Information about the authors

Svetlana P. Merenkova, candidate of Veterinary Sciences, associate Professor of Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; merenkovasp@susu.ru

Elyas Al Assaad, Master's student Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; elassaadelias9@gmail.com

Статья поступила в редакцию 15.09.2025

The article was submitted 15.09.2025