

АРАБИНОГАЛАКТАН В ТЕХНОЛОГИИ МЕТАБОЛИЗМА ПРОБИОТИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ В СРЕДЕ РАСТИТЕЛЬНОГО НАПИТКА

Н.В. Попова[✉], nvpopova@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4309-891X>
К.С. Каменева, ksyushenka.kameneva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8705-3222>
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Растительные напитки на овсяной основе, являясь источником полезной клетчатки, незаменимых аминокислот, жиров и углеводов, а также витаминов и минеральных веществ, представляют собой альтернативу традиционным молочным продуктам. Однако растительные напитки могут содержать в составе биоактивные компоненты, препятствующие усвоению питательных веществ, и повысить пищевую ценность растительного напитка, улучшить его органолептические показатели, возможно, с помощью ферментации. Повысить активность ферментации возможно с помощью введения пребиотиков, в частности арабиногалактана, что и является целью наших исследований. В качестве основы для растительного пробиотического напитка взято растительное молоко на овсяной основе, для заквашивания использовали комплексную закваску пробиотических культур: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus casei*, арабиногалактан вносили в количестве от 0,5 до 3 % от массы напитка. Предварительные исследования показали, что наиболее благоприятно внесение арабиногалактана на этапе заквашивания совместно с закваской. Эффективность процесса ферментации оценивали по изменению титруемой кислотности, накоплению молочной кислоты, экзополисахаридов, а также оценивали показатель антиоксидантной активности вырабатываемых пробиотических напитков. В результате проведенных исследований доказана способность комплексной закваски пробиотических культур: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus casei* развиваться в растительной среде овсяного напитка. При оптимальных для развития указанных штаммов микроорганизмов условиях образуется ферментированный продукт с высокими органолептическими свойствами. Введение полисахарида арабиногалактана на этапе заквашивания растительной среды активизирует процесс ферментации, что отражается в интенсификации изменения титруемой кислотности и накопления молочной кислоты – в среднем на 9–22,7 %, увеличении количества экзополисахаридов на 15,8–54 %. Также установлено улучшение функциональных свойств пробиотических растительных напитков, в частности повышение их антиоксидантной активности на 37,7–93,4 %. Указанные изменения отражаются на консистенции и однородности структуры напитка, а также на его ароматическом и вкусовом профиле.

Ключевые слова: растительные напитки на овсяной основе, ферментация, закваска, полисахарид арабиногалактан, пребиотик, молочнокислые бактерии

Благодарности. Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 23-26-10063.

Для цитирования: Попова Н.В., Каменева К.С. Арабиногалактан в технологии метаболизма пробиотической культуры в среде растительного напитка // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2024. Т. 12, № 1. С. 61–67. DOI: 10.14529/food240107

Original article
DOI: 10.14529/food240107

ARABINO GALACTAN IN THE METABOLISM TECHNOLOGY OF PROBIOTIC CULTURE IN A PLANT-BASED DRINK MEDIUM

N.V. Popova[✉], nvpopova@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4309-891X>,
K.S. Kameneva, kisyushenka.kameneva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8705-3222>
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Plant-based oat milk drinks, serving as a source of beneficial fiber, essential amino acids, fats, and carbohydrates, as well as vitamins and minerals, represent an alternative to traditional dairy products. However, plant-based drinks may contain bioactive components that hinder the absorption of nutrients, and enhancing the nutritional value of plant-based drinks, improving their sensory characteristics, possibly through fermentation, is feasible. Increasing fermentation activity is possible by introducing prebiotics, particularly arabinogalactan, which is the focus of our research. As a basis for the plant probiotic drink, oat milk was chosen, and a complex probiotic culture starter was used: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus casei*, with arabinogalactan added at a concentration of 0.5 to 3 % by weight of the drink. Preliminary studies have shown that the most favorable addition of arabinogalactan occurs during the fermentation stage along with the starter culture. The efficiency of the fermentation process was assessed by changes in titratable acidity, accumulation of lactic acid, exopolysaccharides, and the antioxidant activity of the produced probiotic drinks. The conducted research has demonstrated the ability of the complex probiotic culture starter, including *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus casei*, to thrive in the plant-based oat drink environment. Under optimal conditions for the development of these microbial strains, a fermented product with high sensory properties is produced. The introduction of the arabinogalactan polysaccharide during the fermentation stage of the plant-based medium activates the fermentation process, resulting in an intensification of changes in titratable acidity and accumulation of lactic acid – on average by 9–22.7 %, an increase in the amount of exopolysaccharides by 15.8–54 %. Improvement in the functional properties of probiotic plant-based drinks has also been observed, particularly in enhancing their antioxidant activity by 37.7–93.4 %. These changes are reflected in the consistency and uniformity of the drink structure, as well as its aromatic and flavor profile.

Keywords: Plant-based oat milk drinks, fermentation, starter culture, arabinogalactan polysaccharide, prebiotic, lactic acid bacteria.

Acknowledgments. The article was financially supported by the grant of the Russian Science Foundation (RNF) 23-26-10063.

For citation: Popova N.V., Kameneva K.S. Arabinogalactan in the metabolism technology of probiotic culture in a plant-based drink medium. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 61–67. (In Russ.) DOI: 10.14529/food240107

Растительные напитки на овсяной основе – это современное и популярное направление в питании, которое активно набирает свою аудиторию. Являясь источником полезной клетчатки, незаменимых аминокислот, жиров и углеводов, а также витаминов и минеральных веществ, напитки на овсяной основе представляют собой альтернативу традиционным молочным продуктам. Овсяные напитки также являются отличным источником растительного белка, который способствует быстрому насыщению.

Однако растительные напитки характеризуются наличием в составе биоактивных компонентов, которые препятствуют усвоению питательных веществ. Например, фитиновая кислота, присутствующая в растительном напитке из овса, связывается с необходимыми минералами и микроэлементами, образуя нерастворимые комплексы, сапонины препятствуют усвоению белка путем образования нерастворимых комплексов сапонин-белок, которые устойчивы к перевариванию. Ферментация растительного напитка разрушает не-

желательные компоненты состава и способствует получению продукта с высокой питательной ценностью, улучшает вкус и аромат, текстуру и стабильность продукта.

При разработке пробиотических напитков на растительной основе используются молочнокислые бактерии в основном из родов *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, однако активность их развития в растительной среде зависит от многих факторов. На активность протекания молочнокислого брожения влияет состав напитка, специфические свойства вырабатываемого продукта, температурные режимы производства, взаимоотношения между микроорганизмами. Способность объединения отдельных культур закваски в микробиоценозы зависит от сочетаемости видов и штаммов [3].

На активность протекания процесса могут повлиять пребиотики, представляющие собой физиологически функциональные пищевые ингредиенты и способные оказать стимулирующее действие на рост и/или биологическую активность лактобактерий. Нами в качестве пребиотика для интенсификации развития закваски молочнокислых организмов в растительной среде выбран арабиногалактан (рис. 1).

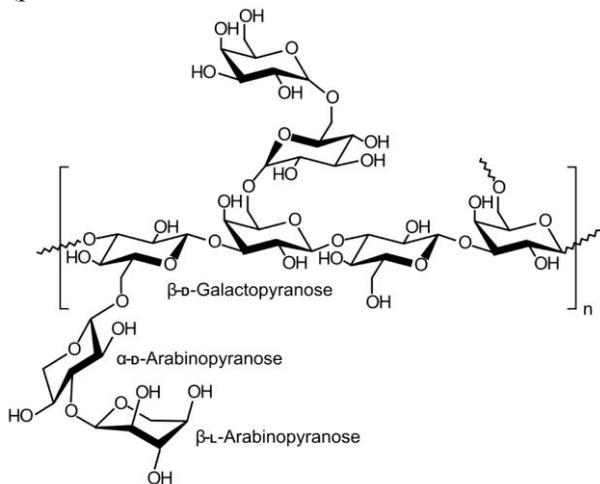


Рис. 1. Структура арабиногалактана

Арабиногалактан представляет собой полисахарид растительного происхождения, получаемый из древесины лиственницы. Он является источником растворимых пищевых волокон, что определяется его способностью поддерживать в здоровом состоянии желудочно-кишечный тракт, ферментировать полезную микрофлору в кишечнике. Обладая свойствами пребиотика, а также противовос-

палительной, гастропротекторной, мембранотропной активностью, арабиногалактан можно широко использовать при производстве функциональных продуктов питания [1, 2].

В качестве технологической добавки полисахарид арабиногалактан проявляет следующие свойства: низкая вязкость концентрированных водных растворов, высокая растворимость в воде, устойчивость к кислой среде, термическая и гидролитическая стабильность, хорошая диспергирующая способность [7, 11].

Целью нашего исследования явилась оценка возможности интенсификации процесса ферментации растительной среды, в частности введением пребиотика арабиногалактана, и влияния процесса на показатели качества и антиоксидантные свойства готового пробиотического напитка.

Объекты и методы исследования

В качестве основы для растительного пробиотического напитка взято растительное молоко «Nemoloko овсяное классическое» (ОАО «Сады Придонья»). Для заквашивания использовали комплексную закваску пробиотических культур, в составе которой: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus casei* (ООО «Бакздрав», г. Москва).

Ферментация овсяного напитка осуществлялась закваской (по рекомендации изготовителя 0,1 г/100 мл) в течение суток при температуре (37 ± 1) °С. В качестве пребиотика взяли арабиногалактан производителя – ЗАО «Научно-производственная фирма «ФЛАВИТ» (Московская область, г. Пушкино).

Вносили арабиногалактан в количестве от 0,5 до 3 % от массы напитка. Предварительные исследования показали, что наиболее благоприятно внесение арабиногалактана на этапе заквашивания совместно с закваской.

Исследуемые образцы обозначены с указанием доли внесения полисахарида арабиногалактана в растительную среду следующим образом:

0 (контроль) – ферментированный растительный напиток на овсяной основе без добавления арабиногалактана;

0,5 – ферментированный растительный напиток на овсяной основе с добавлением арабиногалактана в количестве 0,5 %;

1,5 – ферментированный растительный напиток на овсяной основе с добавлением арабиногалактана в количестве 1,5 %;

3 – ферментированный растительный напиток на овсяной основе с добавлением арабиногалактана в количестве 3 %.

Эффективность процесса ферментации оценивали по изменению титруемой кислотности, накоплению молочной кислоты, экзополисахаридов, а также оценивали показатель антиоксидантной активности вырабатываемых пробиотических напитков.

Сущность метода определения кислотности титрованием заключается в нейтрализации кислоты, содержащейся в навеске исследуемого продукта, гидроокисью натрия в присутствии индикатора фенолфталеина. Спектрофотометрический метод определения содержания молочной кислоты основан на добавлении исследуемого раствора к раствору хлорида железа трехвалентного, и последующего измерения оптической плотности полученного раствора при длине волны 390 нм. Концентрацию молочной кислоты вычисляют по калибровочному графику с учетом 10-кратного разведения исследуемого образца.

Сущность метода определения экзополисахаридов заключается в цветной реакции моносахаридов с фенолом в присутствии серной кислоты. Общий экзополисахарид оценивают в каждой пробе фенол-сернокислотным методом, используя глюкозу в качестве стандарта (5–100 мг/л).

Методика определения антиоксидантной активности флавоноидов основана на способности антиоксидантов исходного сырья свя-

зывать стабильный хромоген-радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидрозил (DPPH), обесцвечивая его. Происходящие изменения регистрируются спектрофотометрически.

Результаты и их обсуждение

Способность закваски адаптироваться в растительной среде оценивали по изменению титруемой кислотности и накоплению молочной кислоты. Полученные результаты подтверждают способность комбинированной закваски *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus casei* адаптироваться в растительной среде овсяного напитка (рис. 2). Накопление молочной кислоты с введением арабиногалактана увеличилось в среднем на 9–22,7 %, что позволяет отметить активизацию процесса молочнокислого брожения.

Арабиногалактан является источником клетчатки и растворимых пищевых волокон, которые способствуют созданию благоприятных условий для развития полезных лактобактерий.

Также при оценке влияния арабиногалактана на активность молочнокислого брожения был установлен выраженный дозозависимый эффект, а именно более активное накопление молочной кислоты и повышение титруемой кислотности наблюдалось в образцах с введением пребиотика до 0,5 %. Возможно в большем количестве арабиногалактан активнее проявляет свойства эмульгатора и влагоудерживающего агента, и несколько замедляет

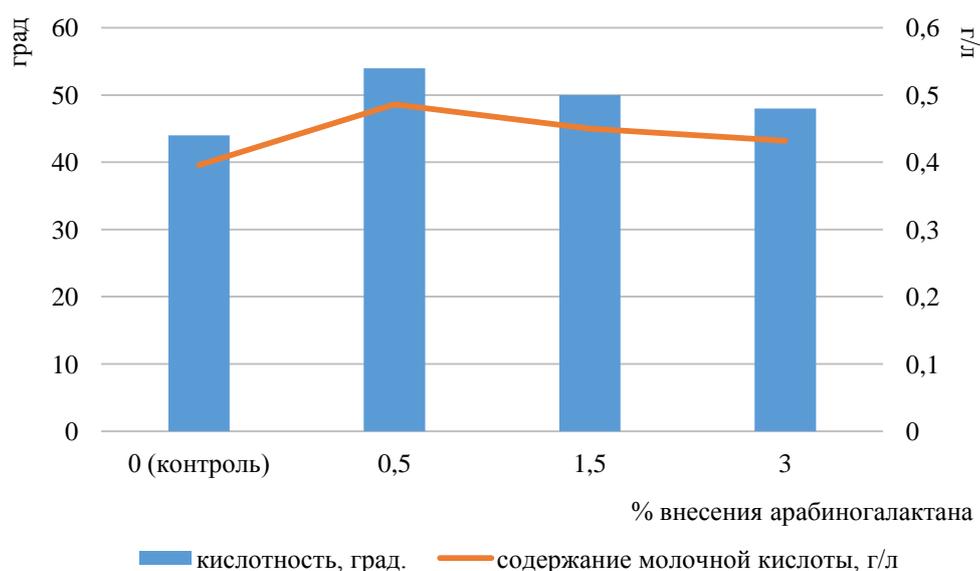


Рис. 2. Результаты определения кислотности и содержания молочной кислоты в образцах пробиотического напитка

процесс развития закваски в растительной среде. Кроме того, известно, что арабиногалактан способен существенно изменять значения рН системы, незначительно влияя на титруемую кислотность. С учетом того, что отдельные виды микроорганизмов характеризуются собственным диапазоном оптимальных условий активного роста, можно предположить, что увеличение дозировки арабиногалактана формирует менее благоприятные условия для кислотонакопления культурами молочнокислых бактерий используемой закваски.

На следующем этапе проведена оценка накопления экзополисахаридов.

Многими авторами доказывается способность закваски молочнокислых бактерий синтезировать экзополисахариды (ЭПС) – гликозидные полимеры, связанные с поверхностью продуцирующих клеток и способные выделяться во внешнюю среду. Продуцентами экзополисахаридов являются представители молочнокислых бактерий, принадлежащие к родам *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus* [5, 6, 10, 12].

Ферментация молочнокислыми бактериями растительной среды овсяного напитка при добавлении арабиногалактана также показала увеличение в составе доли экзополисахаридов (рис. 3).

В исследуемой растительной среде овся-

ного напитка комбинированная закваска *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus casei* активно образует ЭПС, причем добавка арабиногалактана активизирует данный процесс в среднем на 15,8–54 % в зависимости от доли внесения.

Во взаимосвязи с отмеченными показателями находятся и результаты органолептической оценки образцов пробиотических напитков на растительной основе. Установлено, что активная ферментация среды овсяного напитка в присутствии арабиногалактана способствует получению однородной равномерной структуры более вязкой консистенции, не расслаивающейся с течением времени. Кроме того, происходит осветление ферментированного продукта за счет образования органической кислоты и снижения рН по сравнению с неферментированным овсяным напитком, улучшается ароматический и вкусовой профиль пробиотического напитка.

На заключительном этапе исследований нами проведена оценка формирующихся при ферментационных процессах функциональных свойств разрабатываемых пробиотических напитков на растительной основе (рис. 4).

Наиболее распространенными фенольными алкалоидами, которые содержатся исключительно в овсе, являются авенантрамиды. Их антиоксидантная активность в основном обусловлена способностью улавливать активные формы кислорода, обе гидроксильные группы

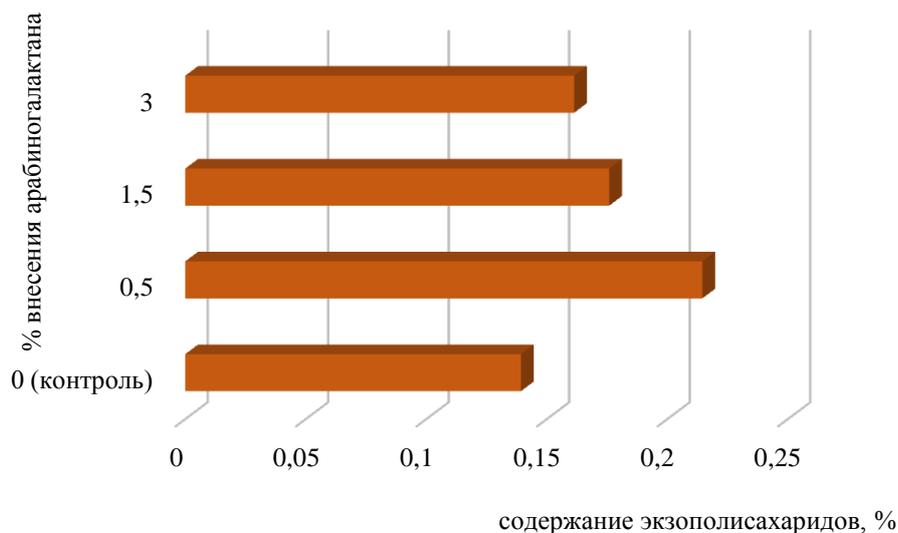


Рис. 3. Результаты определения массовой доли экзополисахаридов в образцах пробиотического напитка

и α , β -ненасыщенные карбонильные группы, которые действуют прямо или косвенно, имеют решающее значение для его антиоксидантных свойств [4].

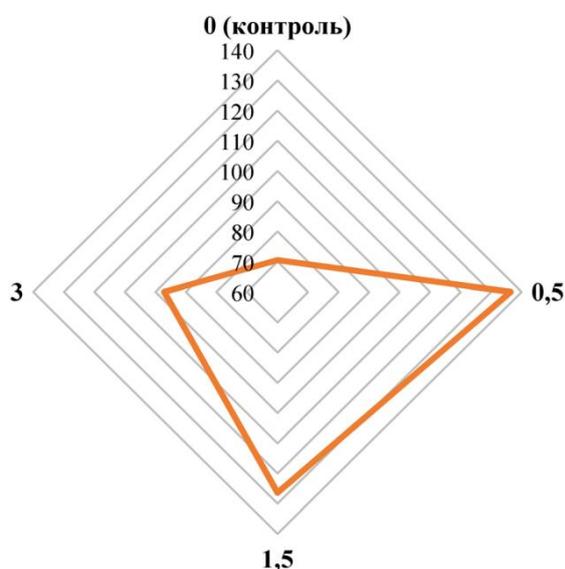


Рис. 4. Результаты определения АОА в исследуемых образцах пробиотического напитка, % DPPH

Результаты определения антиоксидантной активности образцов с арабиногалактаном показали увеличение относительно контрольного образца в среднем на 37,7–93,4 %, причем также отмечается, что меньшая доля арабиногалактана в большей степени проявляет пробиотические свойства, активизируя развитие закваски молочнокислых бактерий.

Усиление антиоксидантной активности в процессе ферментации связано с тем, что молочнокислые бактерии могут выделять большое количество метаболитов. Доказано, что некоторые из высвобождаемых метаболитов,

такие как органические кислоты, спирты, фенолы, экзополисахариды, ограничивают образование свободных радикалов, снижают количество активных форм кислорода и, следовательно, способствуют повышению антиоксидантной активности в ферментированных пищевых продуктах [8, 9].

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований доказывается способность комплексной закваски пробиотических культур: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus casei* развиваться в растительной среде овсяного напитка. При оптимальных для развития указанных штаммов микроорганизмов условиях образуется ферментированный продукт с высокими органолептическими свойствами. Введение полисахарида арабиногалактана на этапе заквашивания растительной среды активизирует процесс ферментации, что отражается в интенсификации изменения титруемой кислотности и накопления молочной кислоты – в среднем на 9–22,7 %, увеличении количества экзополисахаридов на 15,8–54 %, способствует улучшению функциональных свойств пробиотического растительного напитка, в частности повышению его антиоксидантной активности на 37,7–93,4 %. Указанные изменения также отражаются на консистенции и однородности структуры напитка, а также на его ароматическом и вкусовом профиле.

Также в результате исследований установлен дозозависимый эффект внесения полисахарида арабиногалактана в систему растительного ферментируемого напитка, что позволяет отметить необходимость и обоснованность дальнейших исследований в данном направлении.

Список литературы / References

1. Медведева Е.Н., Бабкин В.А., Остроухова Л.А. Арабиногалактан лиственницы – свойства и перспективы использования (обзор) // Химия растительного сырья. 2003. № 1. С. 27–37. [Medvedeva E.N., Babkin V.A., Ostroukhova L.A. Larch arabinogalactan – properties and prospects for use (review). *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2003, no. 1, p. 27–37. (In Russ.)]
2. Решетник Е.И., Уточкина Е.А., Пакулина А.П. Исследование возможности обогащения кисломолочных продуктов пищевой добавкой «Лавитол-арабиногалактан» // Техника и технология пищевых производств. 2010. № 2. С. 1–6. [Reshetnik E.I., Utochkina E.A., Pakusina A.P. Investigation of possibility of fermented milk enrichment with the food additive “lavitol (Arabinogalaktan)”. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2010, no. 2, pp. 1–6. (In Russ.)]

3. Ashwani Kumar, Amarjeet Kaur, Vidisha Tomer. Process optimization for the development of a synbiotic beverage based on lactic acid fermentation of nutriceals and milk-based beverage. *LWT*, Volume 131, 2020, 109774, ISSN 0023-6438. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109774>.
4. Devendra Paudel, Bandana Dhungana, Melanie Caffè and Padmanaban Krishnan. A Review of Health-Beneficial Properties of Oats. *Foods*, 2021, 10, 2591. <https://doi.org/10.3390/foods10112591>.
5. Garai-Ibabe G., Dueñas M.T., Irastorza A., Sierra-Filardi E., Werning M.L., López P., Corbí A.L., De Palencia P.F. Naturally occurring 2-substituted (1, 3)- β -D-glucan producing *Lactobacillus suebicus* and *Pediococcus parvulus* strains with potential utility in the production of functional foods. *Bioresour. Technol.* 101 (23) (2010) 9254–9263.
6. Ghoson M. Daba, Marwa O. Elnahas, Waill A. Elkhateeb. Contributions of exopolysaccharides from lactic acid bacteria as biotechnological tools in food, pharmaceutical, and medical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 173, 2021, Pages 79-89. ISSN 0141-8130. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.110>.
7. Kanika Ghosh, Daisuke Takahashi, Toshihisa Kotake. Plant type II arabinogalactan: Structural features and modification to increase functionality. *Carbohydrate Research* 529 (2023) 108828.
8. Mary-Liis Kütt et al. Starter culture growth dynamics and sensory properties of fermented oat drink. *Heliyon* 9 (2023) e15627.
9. Sucheta Khubber, Francisco J. Marti-Quijal, Igor Tomasevic, Fabienne Remize, Francisco J. Barba. Lactic acid fermentation as a useful strategy to recover antimicrobial and antioxidant compounds from food and by-products. *Current Opinion in Food Science*, Volume 43, 2022, pp. 189–198, ISSN 2214-7993, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.11.013>.
10. Yang Zhou, Yanhua Cui, Xiaojun Qu. Exopolysaccharides of lactic acid bacteria: Structure, bioactivity and associations: A review. *Carbohydrate Polymers*, Volume 207, 2019, Pages 317–332, ISSN 0144-8617, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.093>.
11. Yonggan Sun, Jielun Hu, Shanshan Zhang, Huijun He, Qixing Nie, Yanli Zhang, Chunhua Chen, Fang Geng, Shaoping Nie. Prebiotic characteristics of arabinogalactans during in vitro fermentation through multi-omics analysis. *Food and Chemical Toxicology*, Volume 156, 2021, 112522, ISSN 0278-6915. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112522>.
12. Zhou Y., Cui Y., Qu X. Exopolysaccharides of lactic acid bacteria: structure, bioactivity and associations: a review. *Carbohydr. Polym.* 207 (2019), pp. 317–332.

Информация об авторах

Попова Наталия Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, nvpopova@susu.ru

Каменева Ксения Сергеевна, сотрудник управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, ksyushenka.kameneva@mail.ru

Information about the authors

Natalia V. Popova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, nvpopova@susu.ru

Ksenia S. Kameneva, employee of the Department of Scientific and Innovation Activities, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, ksyushenka.kameneva@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.01.2024

The article was submitted 15.01.2024