

Научная статья

УДК 579.67

DOI: 10.17586/2310-1164-2025-18-2-14-23

## Разработка консорциума молочнокислых бактерий с антиоксидантными свойствами

Д.Р. Камартинова, С.В. Китаевская\*, О.А. Решетник, М.Ю. Тюрин

Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
Россия, Казань, \*kitaevskayas@mail.ru

**Аннотация.** Оценивали биотехнологический потенциал молочнокислых бактерий *p. Lactobacillus* с акцентом на антиоксидантные свойства с последующей разработкой консорциума, предназначенного для повышения качества ферментированных продуктов. Восемь штаммов изучали на ферментативную активность и антиоксидантные свойства. Использовали методы определения антирадикальной активности и восстанавливающей силы внутриклеточных экстрактов и культуральных жидкостей лактобацилл. Биосовместимость штаммов оценивали методом прямого совместного их культивирования на плотной питательной среде MRS. Установлено, что все штаммы проявляют антирадикальную активность, наиболее высокие показатели отмечаются у *L. casei* 32 (84,7%) и *L. plantarum* 24 (73,2%), относительно низкую демонстрирует штамм *L. acidophilus* 9 (29,1%). Наиболее высокой восстанавливающей способностью обладают внутриклеточный экстракт (57,3%) и культуральная жидкость (52,1%) штамма *L. casei* 32. Оценка биотехнологического потенциала молочнокислых бактерий показала, что наиболее перспективными для применения при производстве ферментированных продуктов являются штаммы *L. fermentum* 10, *L. acidophilus* 9, *L. casei* 32, *L. plantarum* 24, *L. plantarum* 131. По результатам совместного культивирования молочнокислых бактерий показана биосовместимость штаммов *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24, что позволило сформировать консорциумы с высоким биотехнологическим потенциалом. Установлено, что консорциум, содержащий штаммы *L. fermentum* 10, *L. casei* 32, *L. plantarum* 24 в соотношении 1:1:2, продемонстрировавший наиболее высокий уровень кислотообразующей, ферментативной и антиоксидантной активности, может быть рекомендован для применения в пищевой биотехнологии для разработки инновационных продуктов, обладающих антиоксидантными свойствами.

**Ключевые слова:** пищевая микробиология; консорциум молочнокислых бактерий; антиоксидантные свойства; антирадикальная активность; *p. Lactobacillus*

Original article

## Development of a lactic acid bacteria consortium with antioxidant properties

Daria R. Kamartdinova, Svetlana V. Kitaevskaya\*, Olga A. Reshetnik, Michael Yu. Turin

Kazan National Research Technological University,  
Russia, Kazan, \*kitaevskayas@mail.ru

**Abstract.** Oxidative stress arising during the production and storage of food products negatively impacts their quality and safety. The study assessed the biotechnological potential of *p. Lactobacillus* spp. lactic acid bacteria, with a focus on their antioxidant properties, followed by the development of a consortium to enhance the quality of fermented products. It was established that all investigated strains exhibit antiradical activity, with *L. casei* 32 (84.7%) and *L. plantarum* 24 (73.2%) demonstrating the highest levels compared to other lactic acid bacteria. *L. acidophilus* 9 exhibited comparatively low activity (29.1%). The intracellular extract (57.3%) and culture supernatant (52.1%) of *L. casei* 32 had the highest reducing power. Based on the assessment of the biotechnological potential of the lactic acid bacteria, the strains *L. fermentum* 10, *L. acidophilus* 9, *L. casei* 32, *L. plantarum* 24, and *L. plantarum* 131 were identified as the most promising for application in the production of fermented products. Analysis of the co-cultivation of lactic acid bacteria revealed the biocompatibility of the *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, and *L. plantarum* 24 strains, enabling the formation of consortia with high biotechnological potential. Consortium № 4, containing *L. fermentum* 10, *L. casei* 32, and *L. plantarum* 24 in a 1:1:2 ratio, demonstrated the highest levels of acidifying, enzymatic, and antioxidant activity, and can be recommended for application in food biotechnology for the development of innovative products with antioxidant properties.

**Keywords:** food microbiology; lactic acid bacteria consortium; antioxidant properties; antiradical activity; *p. Lactobacillus*

## Введение

В настоящее время проблема окислительного стресса, обусловленного дисбалансом между образованием активных форм кислорода и антиоксидантной защитой организма, приобретает большое

значение. Избыточное количество свободных радикалов влияет на развитие алиментарно-зависимых, сердечно-сосудистых и нейродегенеративных заболеваний [1]. В связи с этим важной научной задачей является поиск эффективных способов повышения антиоксидантной защиты организма и нейтрализации активных форм кислорода. Сегодня многочисленные исследования направлены на разработку пищевых продуктов, способных поддерживать антиоксидантный статус организма человека [2–4], используя для этой цели природные антиоксиданты.

Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является применение молочнокислых бактерий, обладающих антиоксидантными свойствами [4–6]. Традиционно они применяются в пищевой промышленности для ферментации и консервирования продуктов [7–9]. Клиническими исследованиями доказано, что лактобациллы, обладающие пробиотическими свойствами, могут выполнять защитную роль в организме человека [10–12], снижая неблагоприятные последствия окислительного стресса. По этой причине штаммы с повышенной антиоксидантной активностью находят применение в медицине, пищевой промышленности, ветеринарии и косметологии.

Научные источники свидетельствуют о способности молочнокислых бактерий синтезировать антиоксидантные соединения – витамины, экзополисахариды, глутатион, ферменты (каталаза, супероксиддисмутаза) и др. [13–15]. Применение лактобацилл, являющихся естественными симбионтами человека, в качестве источника антиоксидантов представляет собой перспективный и безопасный подход к повышению антиоксидантного статуса организма.

В настоящее время разработка и применение консорциумов молочнокислых бактерий, специализированных заквасок, максимально адаптированных к определенному виду сырья для достижения наилучших качественных характеристик ферментированных продуктов питания, является актуальным направлением развития пищевой биотехнологии [16–18]. Несмотря на доказанную эффективность отдельных штаммов, создание консорциумов – комбинации различных штаммов с комплиментарными свойствами – может обеспечить синергетический эффект и более широкий спектр функционально-технологических свойств. Стоит отметить, что при производстве пищевой продукции часто требуется одновременно решать несколько задач по улучшению ее качества: технологические свойства, органолептические характеристики, безопасность и продолжительность хранения. В связи с этим внимание исследователей направлено на создание высокоактивных консорциумов микроорганизмов и изучение их биотехнологического потенциала. В настоящее время разработаны консорциумы, проявляющие выраженную кислотообразующую активность [19–21], обладающие антибиотическим потенциалом и демонстрирующие антагонистическую активность в отношении патогенной или условно-патогенной микрофлоры [22–24]. Однако, отмечается, что антиоксидантные свойства консорциумов молочнокислых бактерий недостаточно изучены.

Создание и изучение консорциумов лактобацилл с целенаправленно подобранными антиоксидантными свойствами является актуальной задачей, открывающей новые возможности для разработки функциональных продуктов питания и биологически активных добавок, способных эффективно противостоять окислительному стрессу.

Цель работы – разработать высокоэффективный консорциум молочнокислых бактерий, обладающих антиоксидантными свойствами.

## Объекты и методы исследования

Объектами изучения выбраны штаммы молочнокислых бактерий *p. Lactobacillus* из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов – *L. casei* МДП-1, *L. plantarum* 71, *L. plantarum* 131 и коллекции микроорганизмов кафедры технологии пищевых производств Казанского национального исследовательского технологического университета – *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24, *L. casei* 32, *L. casei* 16 и *L. acidophilus* 9. Культивирование молочнокислых бактерий осуществляли на питательной среде MRS в термостате при 37°C в течение 24 ч.

Амилолитическую активность лактобацилл определяли по способности амилолитических ферментов катализировать гидролиз крахмала до декстринов согласно ГОСТ 20264.4–74.

Протеолитическую активность штаммов оценивали по количеству высвободившегося тирозина, накапливающегося в субстрате за 1 ч под действием протеаз [25].

Определение активности липолитических ферментов отобранных штаммов проводили согласно [26] и выражали в микромолях олеиновой кислоты, освобождающейся за 1 ч при гидролизе оливкового масла.

Активную кислотность сквашенного молока определяли потенциометрическим методом с помощью рН-метра. Для сквашивания использовали цельное гомогенизированное молоко с массовой долей жира 3,6%, кислотностью 16°Т (Зеленодольский молочный комбинат, Зеленодольск, Республика Татарстан).

Антиоксидантную активность молочнокислых бактерий определяли с помощью следующих методов: антирадикальная активность [5], восстанавливающая сила [9].

Оценку биосовместимости штаммов осуществляли методом прямого совместного культивирования микроорганизмов на плотной питательной среде (капельная методика) [16].

Полученные данные представляют средние арифметические значения трех повторностей эксперимента и их среднеквадратичное отклонение. Достоверность различий между группами данных определяли с помощью t-критерия Стьюдента ( $p \leq 0,05$ ).

## Результаты и их обсуждение

Молочнокислые бактерии *p. Lactobacillus* обладают высокой промышленной ценностью и активно используются в качестве заквасок при производстве широкого спектра пищевых продуктов [27, 28]. Применение конкретного штамма в промышленных условиях требует предварительной оценки его биотехнологического потенциала и функциональных характеристик. Изучаемые штаммы *p. Lactobacillus* характеризуются палочковидной формой клеток, которые расположены одиночно, парно или в цепочках разной длины. Оптимальный температурный диапазон для роста лактобацилл находится в пределах 30–40°С [17].

Исследование биотехнологического потенциала молочнокислых бактерий (таблица 1) необходимо для выявления новых штаммов с уникальными свойствами, оптимизации процессов их культивирования, а также расширения возможностей для разработки инновационных продуктов с заданными характеристиками.

Таблица 1. Биотехнологический потенциал штаммов молочнокислых бактерий  
Table 1. Biotechnological potential of lactic acid bacteria strains

Штамм	Конечная концентрация биомассы, г/100 см <sup>3</sup>	Активная кислотность, рН	Амилитическая активность, ед. акт./см <sup>3</sup>	Протеолитическая активность, мкг тирозина/см <sup>3</sup> ×мин.	Липолитическая активность, ед. акт./см <sup>3</sup>
<i>L. fermentum 10</i>	5,78 ±0,11	4,70 ±0,05	110,38 ±0,98	10,19 ±0,49	7,8 ±0,38
<i>L. acidophilus 9</i>	5,66 ±0,15	4,62 ±0,05	71,88 ±0,79	9,21 ±0,42	0,75 ±0,11
<i>L. casei 16</i>	5,46 ±0,16	4,70 ±0,05	97,81 ±0,91	11,17 ±0,53	0,56 ±0,10
<i>L. casei 32</i>	5,92 ±0,14	4,59 ±0,04	101,17 ±2,14	11,60 ±0,55	0,83 ±0,19
<i>L. casei МДП-1</i>	5,85 ±0,12	4,68 ±0,05	79,18 ±1,03	6,19 ±0,26	3,36 ±0,25
<i>L. plantarum 24</i>	5,27 ±0,12	4,77 ±0,06	96,72 ±0,83	6,07 ±0,29	2,34 ±0,19
<i>L. plantarum 71</i>	5,71 ±0,13	4,65 ±0,05	98,91 ±1,13	8,54 ±0,47	1,98 ±0,17
<i>L. plantarum 131</i>	5,89 ±0,18	4,41 ±0,05	89,41 ±0,95	4,42 ±0,21	4,08 ±0,36

Исследования по изучению роста молочнокислых бактерий на питательной среде MRS показали, что конечная концентрация биомассы достигает значений 5,27–5,92 г/100 см<sup>3</sup>. Наибольший ее показатель демонстрируют штаммы *L. casei 32*, *L. casei МДП-1* и *L. plantarum 131*.

Кислотообразующая активность лактобацилл – одна из основных характеристик штаммов, так как кислая среда способствует процессу гидролиза белков, снижению активности патогенной микрофлоры и активации ферментов. Установлено, что активная кислотность молочнокислых бактерий находилась в диапазоне рН = 4,41–4,77. Под действием штаммов *L. fermentum 10*, *L. casei 16*, *L. casei 32*, *L. casei МДП-1* в молоке образуются густые молочные сгустки, остальные штаммы образуют пастообразные сгустки.

Следует отметить, что стустки, сформировавшиеся под действием *L. acidophilus* 9 и *L. plantarum* 131, отличаются резко кислым вкусом.

Важным функционально-технологическим свойством молочнокислых бактерий, оказывающим влияние на органолептические, физико-химические и микробиологические показатели качества продуктов питания, является способность продуцировать амилолитические, липолитические и протеолитические ферменты. Оценка ферментативной активности изучаемых культур показала, что наибольшую амилолитическую активность проявляет *L. fermentum* 10 (110,38 ед. акт./см<sup>3</sup>), в то время как *L. casei* 32 и *L. casei* 16 демонстрируют наиболее высокий уровень протеолитической активности (11,60 и 11,17 мкг тирозина/см<sup>3</sup>·мин. соответственно). Установлено, что данные штаммы отличаются низким уровнем липолитической активности, за исключением штамма *L. fermentum* 10, проявляющего липолитическую активность на уровне  $7,8 \pm 0,38$  ед. акт./см<sup>3</sup>.

Особый интерес представляет изучение антиоксидантной активности молочнокислых бактерий. Способность лактобацилл продуцировать антиоксиданты позволяет снижать окислительный стресс в организме и открывает перспективы для создания продуктов питания с повышенной биологической ценностью.

На рисунках 1 и 2 приведены результаты исследования антиоксидантной активности молочнокислых бактерий.

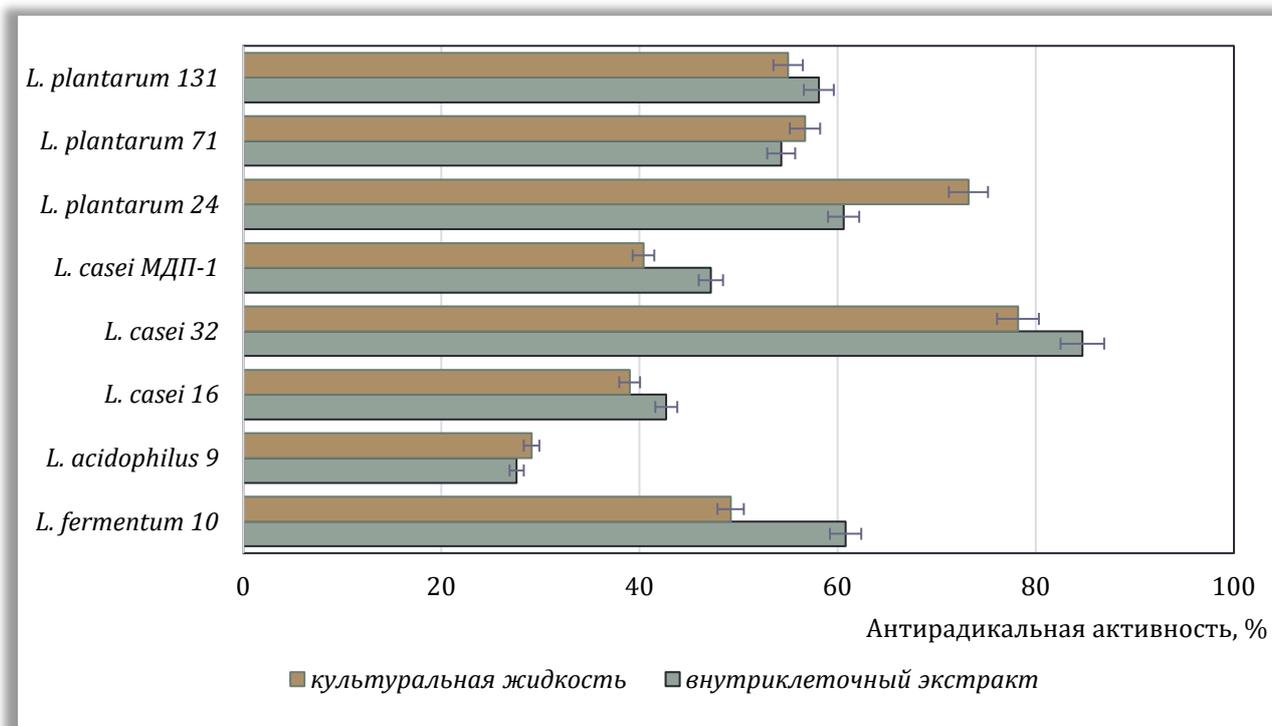


Рисунок 1 – Антирадикальная активность молочнокислых бактерий  
Figure 1. Antiradical activity of lactic acid bacteria

Полученные данные свидетельствуют о том, что все исследуемые штаммы проявляют антирадикальную активность. Установлено, что внутриклеточные экстракты характеризуются более выраженной способностью нейтрализовать действие свободных радикалов в сравнении с культуральной жидкостью. Выявлено, что *L. casei* 32 и *L. plantarum* 24 обладают более высокой антирадикальной активностью (84,7 и 73,2% соответственно) в сравнении с другими молочнокислыми бактериями. Штамм *L. acidophilus* 9 показал относительно низкую активность как культуральной жидкости (29,1%), так и во внутриклеточном экстракте (27,6%).

Также об антиоксидантных свойствах исследуемых микроорганизмов судили по способности их внутриклеточных экстрактов и культуральной жидкости восстанавливать  $Fe^{3+}$  до  $Fe^{2+}$ . Результаты исследования представлены на рисунке 2.

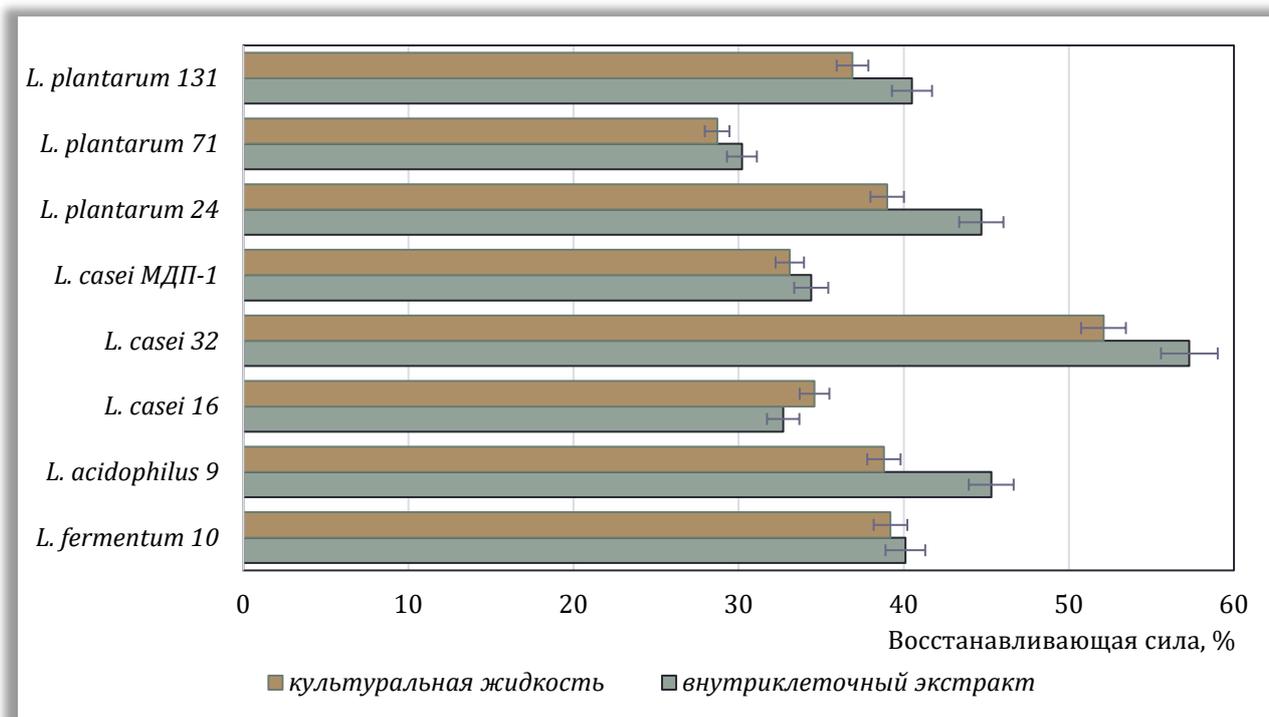


Рисунок 2 – Восстанавливающая сила молочнокислых бактерий  
 Figure 2. Reducing power of lactic acid bacteria

Из анализа полученных результатов видно, что восстанавливающая сила зависит от конкретного штамма и варьируется в диапазоне от 28,7 до 57,3%. Внутриклеточные экстракты штаммов имели более высокий показатель в сравнении с культуральной жидкостью. Наибольшей восстанавливающей способностью обладает внутриклеточный экстракт (57,3%) и культуральная жидкость (52,1%) штамма *L. casei* 32.

Исследование биотехнологического потенциала лактобацилл показало, что для производства ферментированных продуктов наиболее перспективными являются штаммы *L. fermentum* 10, *L. acidophilus* 9, *L. casei* 32, *L. plantarum* 24, *L. plantarum* 131, поскольку они характеризуются высоким уровнем антиоксидантной, амилолитической и протеолитической активности.

Полученные данные использованы при разработке высокоактивного консорциума, состоящего из штаммов молочнокислых бактерий, обладающих высоким потенциалом для применения в пищевой промышленности.

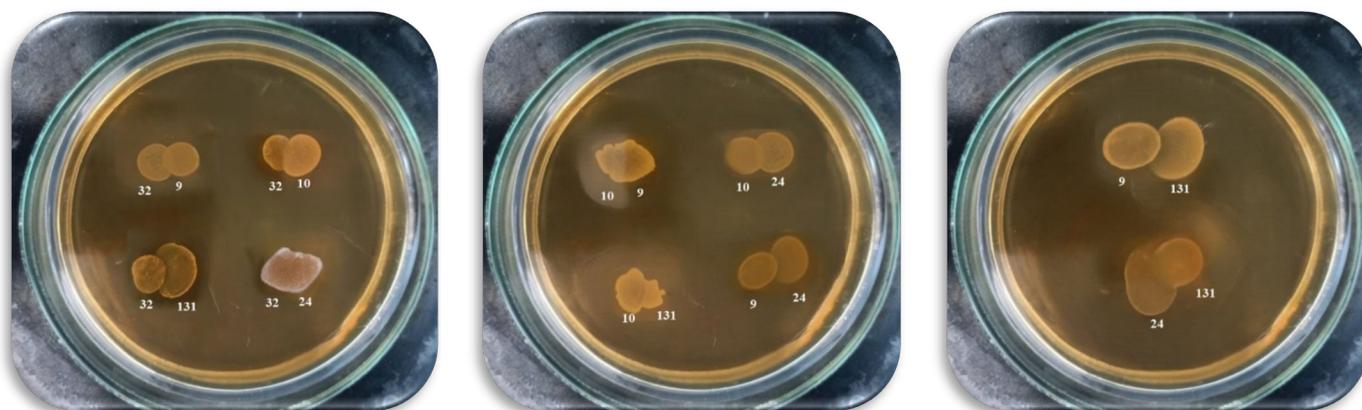


Рисунок 3 – Определение биосовместимости исследуемых штаммов *L. fermentum* 10, *L. acidophilus* 9, *L. casei* 32, *L. plantarum* 24, *L. plantarum* 131 в подобранных парах  
 Figure 3. Determination of biocompatibility of tested strains *L. fermentum* 10, *L. acidophilus* 9, *L. casei* 32, *L. plantarum* 24, *L. plantarum* 131 in matched pairs

При создании консорциума молочнокислых бактерий важен выбор штаммов, способных к комплиментарному взаимодействию и синергетическому усилению эффекта при совместном культивировании. Их отбор основывался на оценке индивидуальных биотехнологических свойств и способности к совместному росту. Оценка биосовместимости проводилась посредством совместного культивирования микроорганизмов на питательной среде MRS в течение 24 ч при температуре 37°C. Результаты исследования приведены на рисунке 3.

Оценка биосовместимости штаммов лактобацилл, основанная на визуальном наблюдении, продемонстрировала, что отдельные пары способны к совместному росту. Критерием являлось слияние границ зон роста, тогда как антагонизм проявлялся в форме подавления роста или наличием четкой кромки на границах колоний.

Анализ результатов совместного культивирования выявил биосовместимость штаммов *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24, что подтверждается их интенсивным ростом и слиянием колоний. В результате разработаны консорциумы в следующем составе и соотношении:

- консорциум № 1 – *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24 (1:1:1);
- консорциум № 2 – *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24 (2:1:1);
- консорциум № 3 – *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24 (1:2:1);
- консорциум № 4 – *L. casei* 32, *L. fermentum* 10, *L. plantarum* 24 (1:1:2).

Для определения возможности применения разработанных консорциумов в пищевом производстве проведена комплексная оценка их биотехнологических свойств (таблицы 2 и 3). Кроме того, проанализировали активность свертывания молока консорциумами молочнокислых бактерий.

Таблица 2. Оценка функционально-технологических свойств консорциумов

Table 2. Evaluation of functional and technological properties of the consortia

Консорциум	Активная кислотность, pH	Титруемая кислотность, °Т	Предельная кислотность, °Т	Количество жизнеспособных клеток, КОЕ/см <sup>3</sup>
1	4,1 ± 0,05	80 ± 3	106 ± 3	(8,3 ± 3)·10 <sup>9</sup>
2	4,3 ± 0,05	79 ± 3	102 ± 3	(9,2 ± 3)·10 <sup>9</sup>
3	4,6 ± 0,05	93 ± 3	107 ± 3	(6,7 ± 3)·10 <sup>9</sup>
4	4,8 ± 0,05	99 ± 3	110 ± 3	(10,2 ± 3)·10 <sup>9</sup>

Все консорциумы продемонстрировали высокую эффективность при ферментации молока. Выявлено, что в результате сквашивания формируются сгустки, которые характеризуются плотной и однородной консистенцией, типичным кисло-молочным вкусом и ароматом. Анализ показал наивысшую кислотообразующую активность у консорциума № 4.

Таблица 3. Биотехнологические свойства консорциумов

Table 3. Biotechnological properties of the consortia

Показатели	Консорциум № 1	Консорциум № 2	Консорциум № 3	Консорциум № 4
конечная концентрация биомассы, г/100 см <sup>3</sup>	5,66 ± 0,11	5,72 ± 0,09	5,69 ± 0,10	5,76 ± 0,11
активная кислотность, pH	4,69 ± 0,05	4,66 ± 0,05	4,69 ± 0,05	4,71 ± 0,05
амилолитическая активность, ед. акт./см <sup>3</sup>	102,76 ± 0,98	102,36 ± 0,89	101,66 ± 0,95	104,25 ± 1,03
протеолитическая активность, мкг тирозина/см <sup>3</sup> ·мин	9,09 ± 0,45	9,17 ± 0,45	9,21 ± 0,46	9,98 ± 0,49
липолитическая активность, ед. акт./см <sup>3</sup>	3,66 ± 0,07	2,95 ± 0,05	4,69 ± 0,09	3,33 ± 0,06

Анализ биотехнологических характеристик показал, что все консорциумы обладают кислотообразующей активностью (pH 4,66–4,71). Наибольшей амилолитической (104,25 ед. акт./см<sup>3</sup>) и протеолитической активностью (9,98 мкг тирозина/см<sup>3</sup>·мин.) отличается консорциум № 4, наивысший уровень липолитической активности проявляет консорциум № 3 (4,69 ед. акт./см<sup>3</sup>). Данные характеристики лактобацилл бактерий являются ключевыми ферментативными функциями консорциума, обеспечивающими гидролиз крахмала и белков, которые служат субстратами для последующих метаболических процессов и формируют органолептические и физико-химические показатели качества ферментированных продуктов питания.

В таблице 4 представлены результаты оценки антиоксидантной активности разработанных консорциумов.

Таблица 4. Антиоксидантные свойства консорциумов лактобацилл  
Table 4. Antioxidant properties of lactobacilli consortia

Показатели, %	Консорциум № 1	Консорциум № 2	Консорциум № 3	Консорциум № 4
внутриклеточный экстракт				
антирадикальная активность	68,70 ± 0,03	72,70 ± 0,05	66,73 ± 0,05	66,68 ± 0,04
восстанавливающая сила	47,37 ± 0,02	49,85 ± 0,03	45,55 ± 0,02	46,70 ± 0,03
культуральная жидкость				
антирадикальная активность	66,87 ± 0,03	69,70 ± 0,04	62,45 ± 0,04	68,45 ± 0,04
восстанавливающая сила	43,43 ± 0,02	45,60 ± 0,03	42,38 ± 0,03	42,33 ± 0,02

В результате исследования выявлена выраженная антиоксидантная активность разработанных консорциумов молочнокислых бактерий, что подтверждается высокими показателями антирадикальной активности (62,45–68,70%) и свидетельствует об их способности эффективно ингибировать процесс образования активных форм кислорода. Кроме того, уровень восстанавливающей силы, находящийся в диапазоне от 42,33 до 49,85%, подчеркивает способность восстанавливать молекулы, подвергшиеся окислительному повреждению. Выявленная антиоксидантная активность консорциума № 4 делает его перспективным для применения в пищевой промышленности благодаря способности защитить клетки и биологически активные молекулы от окислительного стресса, возникающего в процессе ферментации сырья и хранения продуктов питания.

## Заключение

В ходе экспериментов установлено, что штаммы *Lactobacillus fermentum 10*, *Lactobacillus acidophilus 9*, *Lactobacillus casei 32*, *Lactobacillus plantarum 24* и *Lactobacillus plantarum 131* отличаются значительным биотехнологическим потенциалом, что открывает перспективы их широкого применения в пищевой промышленности. Высокий уровень кислотообразующей, ферментативной и антиоксидантной активности штаммов позволяет использовать их в качестве заквасочных культур, а также создавать консорциумы на их основе с целью оптимизации технологических процессов и расширения функциональных свойств готовой продукции.

Оценка биосовместимости штаммов лактобацилл позволила подобрать состав и соотношение консорциумов, в которых отсутствует явление антагонизма. Разработанные консорциумы имеют высокий биотехнологический потенциал и могут быть применены в производственных целях. Консорциум № 4, содержащий штаммы *L. fermentum 10*, *L. casei 32*, *L. plantarum 24* в соотношении 1:1:2, продемонстрировал наиболее высокий уровень кислотообразующей, ферментативной и антиоксидантной активности и может быть рекомендован для применения в производстве ферментированных продуктов питания, как обладающий наибольшим практическим значением.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку инновационных биопрепаратов и биологически активных добавок, обладающих антиоксидантными свойствами, для пищевой и фармацевтической промышленности.

## Литература

- Sanlier N., Gokcen B.B., Sezgin A.C. Health benefits of fermented foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019, V. 59, no. 3, pp. 506–527. DOI: 10.1080/10408398.2017.1383355
- Кедринская Л.И., Яшин А.Я., Яшин Я.И. Профилактика и лечение сердечно-сосудистых заболеваний природными антиоксидантами // Аналитика. 2023. Т. 13. № 5. С. 338–345. DOI: 10.22184/2227-572X.2023.13.5.338.344
- Яшин А.Я., Веденин А.Н., Яшин Я.И., Немзер Б.В. Ягоды: химический состав, антиоксидантная активность, влияние потребления на здоровье человека // Аналитика. 2019. Т. 9. № 3. С. 222–231. DOI: 10.22184/2227-572X.2019.09.3.222.23
- Bautista-Exposito S., Tom'e-Sanchez I., Mart'ın-Diana A.B., Frias J., Penas E., Rico D., Casas M.J.G., Martinez-Villaluenga C. Enzyme selection and hydrolysis under optimal conditions improved phenolic acid solubility, and

- antioxidant and anti-inflammatory activities of wheat bran. *Antioxidants*. 2020, V. 9, Is. 10, article 984. DOI: 10.3390/antiox9100984
5. *Нилова Л.П.* Оценка антиоксидантных свойств консервов из клюквы с сахаром при изготовлении и хранении // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2024. № 4. С. 3–11. DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-4-3-11
  6. Maske B.L., de Melo Pereira G.V., da S. Vale A., de Carvalho Neto D.P., Karp S.G., Viesser J.A, De Dea Lindner J., Pagnoncelli M.G., Soccol V.T. A review on enzyme-producing lactobacilli associated with the human digestive process: From metabolism to application. *Enzyme and Microbial Technology*. 2021, V. 149, article 109836. DOI: 10.1016/j.enzmictec.2021.109836
  7. *Абдуллаева Н.Ф., Тагу-заде З.А., Мустафаева Р.С.* Микробиологические и биохимические характеристики молочнокислых бактерий и области их применения (обзор) // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017. № 3. С. 31–35.
  8. Ripari V., Gänzle M.G., Berardi E. Evolution of sourdough microbiota in spontaneous sourdoughs started with different plant materials. *Int J Food Microbiol*. 2016, V. 232, pp. 35–42. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.025
  9. *Юнусов Э.Ш., Пономарев В.Я., Нукитина Е.В.* Оценка перспективы использования незаквасочного штамма *Lactiplantibacillus plantarum* AG15 в технологиях ферментированных молочных продуктов // Индустрия питания. 2022. Т. 7. № 3. С. 5–17. DOI: 10.29141/2500-1922-2022-7-3-1
  10. *Стоянова Л.Г., Дбар С.Д., Полянская И.С.* Метабиотические свойства штаммов *Lactobacillus acidophilus*, входящих в комплексные закваски для производства пробиотических молочных продуктов // Биотехнология. 2022. Т. 38. № 1. С. 3–12. DOI: 10.56304/So234275822010070
  11. *Просеков А.Ю., Остроумов Л.А.* Инновационный менеджмент биотехнологий заквасочных культур // Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 43. № 4. С. 64–69.
  12. *Волкова Г.С., Куксова Е.В., Серба Е.М.* Изучение производственных свойств отдельных штаммов молочнокислых бактерий для создания пробиотиков // Пищевая промышленность. 2020. № 3. С. 8–11. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10024
  13. *Веснина А.Д., Просеков А.Ю., Козлова О.В., Курбанова М.Г., Козленко Е.А., Голубцова Ю.В.* Разработка пробиотического консорциума для людей с онкологическими заболеваниями // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. № 1. С. 219–232. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-219-232
  14. Klimko A.I. Cherdyntseva T.A., Brioukhanov A.L., Netrusov A.I. In vitro evaluation of probiotic potential of selected lactic acid bacteria strains. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2020, V. 12, no. 3, pp. 1139–1148. DOI: 10.1007/s12602-019-09599-6
  15. Rajoka M.S.R., Wu Y.G., Zhao L.Q. Lactobacillus exopolysaccharides: New perspectives on engineering strategies, physiochemical functions, and immunomodulatory effects on host health. *Trends in Food Science & Technology*. 2020, no. 103, pp. 36–48. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.06.003
  16. *Волкова Г.С., Серба Е.М.* Создание многостаммового бактериального консорциума для технологии пробиотических препаратов кормового назначения // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 2. С. 260–269. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-2-260-269
  17. *Китаевская С.В., Решетник О.А., Камартдинова Д.Р., Волостнова А.Н., Романова Н.К.* Оценка биотехнологического потенциала новых штаммов молочнокислых бактерий с криорезистентными свойствами // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 4. С. 63–69. DOI: 10.20914/2310-1202-2023-4-63-69
  18. *Нестеренко А.А., Акоюн К.В.* Выбор и исследование консорциума микроорганизмов для обработки мясного сырья // Научный журнал КубГАУ. 2014. Т.7. № 101. С. 1–19.
  19. *Трофимов А.А., Лавриненко Е.А., Шевякова П.А., Гунькова П.И., Москвичева Е.В., Федюнина Е.Ю.* Биотехнологический потенциал молочнокислых бактерий при ферментации растительной основы альтернативного напитка из полбы // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2024. № 3. С. 26–35. DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-3-26-35
  20. *Сидерко И.А., Фурик Н.Н., Жабанос Н.К., Бирюк Е.Н.* Оценка влияния *Lactobacillus delbrueckii* subsp. lactis и *Lactobacillus casei* subsp. casei в составе бактериального консорциума для сыров на скорость кислотообразования // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2022. № 17. С. 101–106.
  21. *Волкова Г.С., Серба Е.М.* Биотехнологические свойства закваски на основе консорциума штаммов молочнокислых бактерий // Известия вузов. Пищевая технология. 2020. № 4. С. 73–77. DOI: 10.26297/0579-3009.2020.4.18
  22. Soltani S., Biron E., Ben Said L., Subirade M., Fliss I. Bacteriocin-based synergetic consortia: a promising strategy to enhance antimicrobial activity and broaden the spectrum of inhibition. *Microbiol Spectr*. 2022, V. 10, Is. 1, article e00406-21. DOI: 10.1128/spectrum.00406-21
  23. *Ржевская В.С., Семенова Е.Ф., Зайцев Г.П., Сластия Е.А., Омельченко А.В., Бугара И.А., Теплицкая Л.М., Цокало И.Е.* Антагонистическое действие молочнокислых бактерий и их консорциума с дрожжами

- на патогенные микроорганизмы // Биотехнология. 2021. Т. 37. № 5. С. 96–107. DOI: 10.21519/0234-2758-2021-37-5-96-107.
24. Vera-Santander V.E., Hernández-Figueroa R.H., Jiménez-Munguía M.T., Mani-López E., López-Malo A. Health benefits of consuming foods with bacterial probiotics, postbiotics, and their metabolites: A review. *Molecules*. 2023, V. 28, no. 3, article 1230. DOI: 10.3390/molecules28031230
25. Кутаевская С.В., Пономарев В.Я., Решетник О.А. Оценка протеолитической активности новых штаммов лактобацилл с криорезистентными свойствами // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. № 1. С. 76–86. DOI:10.21285/2227-2925-2022-12-1-76-86
26. Кутаевская С.В. Изучение способности молочнокислых бактерий продуцировать липолитические ферменты // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 18. С. 256–258.
27. Лесникова Н.А., Котова Т.В. Совершенствование биотехнологии производства хлебобулочных изделий // Актуальная биотехнология. 2020. № 3. С. 214–217. DOI: 10.20914/2304-4691-2020-3-214-217
28. Sungatullina A., Petrova T., Kharina M., Mikshina P., Nikitina E. Effect of flaxseed mucilage on the probiotic, antioxidant, and structural-mechanical properties of the different Lactobacillus cells. *Fermentation*. 2023, V.9, article 486. DOI: 10.3390/fermentation9050486

## References

1. Sanlier N., Gokcen B.B., Sezgin A.C. Health benefits of fermented foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019, V. 59, no. 3, pp. 506–527. DOI: 10.1080/10408398.2017.1383355
2. Kedrinskaya L.I., Yashin A.Ya., Yashin, Ya.I. Prevention and treatment of cardiovascular diseases with natural antioxidants. *Analytics*. 2023, V. 13, no 5, pp. 338–344. DOI: 10.22184/2227-572X.2023.13.5.338.344 (In Russian)
3. Yashin A.Ya., Vedenin A.N., Yashin Ya.I., Nemzer B.V. Berries: chemical composition, antioxidant activity. Impact of consumption of berries on health of the person. *Analytics*. 2019, V. 9, no 3, pp. 222–231. DOI: 10.22184/2227-572X.2019.09.3.222.23 (In Russian)
4. Bautista-Exposito S., Tom´e-Sanchez I., Martín-Diana A.B., Frias J., Penas E., Rico D., Casas M.J.G., Martinez-Villaluenga C. Enzyme selection and hydrolysis under optimal conditions improved phenolic acid solubility, and antioxidant and anti-inflammatory activities of wheat bran. *Antioxidants*. 2020, V. 9, Is. 10, article 984. DOI: 10.3390/antiox9100984
5. Nilova L.P. Antioxidant properties of canned cranberry with sugar during processing and storage. *Processes and Food Production Equipment*. 2024, no. 4, pp. 3–11. DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-4-3-11 (In Russian)
6. Maske B.L., de Melo Pereira G.V., da S. Vale A., de Carvalho Neto D.P., Karp S.G., Viesser J.A, De Dea Lindner J., Pagnoncelli M.G., Socol V.T. A review on enzyme-producing lactobacilli associated with the human digestive process: From metabolism to application. *Enzyme and Microbial Technology*. 2021, V. 149, article 109836. DOI: 10.1016/j.enzmictec.2021.109836
7. Abdullaeva N.F., Taghizadeh Z.A., Mustafaeva R.S. Microbiological and biochemical characterizations of lactic acid bacteria and their applications (review). *Aktual'nye Problemy Gumanitarnykh i Estestvennykh Nauk*. 2017, no. 3, pp. 31–35 (In Russian)
8. Ripari V., Gänzle M.G., Berardi E. Evolution of sourdough microbiota in spontaneous sourdoughs started with different plant materials. *Int J Food Microbiol*. 2016, V. 232, pp. 35–42. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.025
9. Junusov E.Sh., Ponomarev V.Y., Nikitina E.V. Prospects for the use of non-starter strain *Lactiplantibacillus Plantarum AG15* in dairy technology. *Food Industry*. 2022, V. 7, no. 3, pp. 5–17. DOI: 10.29141/2500-1922-2022-7-3-1 (In Russian)
10. Stojanova L.G., Dbar S.D., Poljanskaja I.S. Metabiotic properties of Lactobacillus acidophilus strains included in complex starter cultures for probiotic dairy products. *Biotechnology*. 2022, V. 38, no 1, pp. 3–12. DOI: 10.56304/S0234275822010070 (In Russian)
11. Prosekov A.Yu., Ostroumov L.A. Innovation management biotechnology of starter cultures. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2016, V. 43, no 4, pp. 64–69. (In Russian).
12. Volkova G.S., Kuksova E.V., Serba E.M. Study of production properties of individual strains of lactic acid bacteria for probiotics. *Food Processing Industry*. 2020, no 3, pp. 8–11. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10024. (In Russian)
13. Vesnina A.D., Prosekov A.Yu., Kozlova O.V., Kurbanova M.G., Kozlenko E.A., Golubtsova U.V. Development of a probiotic consortium for people with cancer. *Vestnik Voronežskogo gosudarstvennogo universiteta inženernykh tehnologij*. 2021, no. 1, pp. 219–232. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-219-232. (In Russian)
14. Klimko A.I. Cherdyn'tseva T.A., Brioukhanov A.L., Netrusov A.I. In vitro evaluation of probiotic potential of selected lactic acid bacteria strains. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2020, V. 12, no. 3, pp. 1139–1148. DOI: 10.1007/s12602-019-09599-6.
15. Rajoka M.S.R., Wu Y.G., Zhao L.Q. Lactobacillus exopolysaccharides: New perspectives on engineering strategies, physiochemical functions, and immunomodulatory effects on host health. *Trends in Food Science & Technology*. 2020, no. 103, pp. 36–48. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.06.003.
16. Volkova G.S., Serba E.M. New Multistrain Bacterial Consortium for Feed Probiotics. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021, V. 51, no 2, pp. 260–269. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-2-260-269. (In Russian)

17. Kitaevskaja S.V., Reshetnik O.A., Kamartdinova D.R., Volostnova A.N., Romanova N.K. Evaluation of biotechnological potential of new strains of lactic acid bacteria with cryoresistant properties. *Vestnik Voronežskogo gosudarstvennogo universiteta inženernyh tehnologij*. 2023, V. 85, no. 4, pp. 63–69. DOI: 10.20914/2310-1202-2023-4-63-69. (In Russian)
18. Nesterenko A.A., Akopjan Ch.V. Choice and research of properties of the consortium of microorganisms for processing meat raw materials. *Scientific Journal of KubSAU*. 2014, V.7, no. 101, pp. 1–19. (In Russian)
19. Trofimov A.A., Lavrinenko E.A., Shevyakova P.A., Gunkova P.I., Moskvicheva E.V., Fedinishina E.Y. Biotechnological potential of lactic acid bacteria during fermentation of the plant base for an alternative emmer drink. *Processes and Food Production Equipment*. 2024, no. 3, pp. 26–35, DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-3-26-35. (In Russian)
20. Siderko I.A., Furik N.N., Zhabanos N.K., Biruk E.N. Evaluation of the impact of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Lactis* and *Lactobacillus casei* subsp. *casei* as part of a bacterial consortium for cheese on the rate of acid formation. *Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials*. 2022, no. 17, pp. 101–106. (In Russian)
21. Volkova G.S., Serba E.M. Biotechnological properties of starter culture on based a consortium of industrial strains of lactic acid bacteria. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2020, no. 4, pp. 73–77. DOI 10.26297/0579-3009.2020.4.18. (In Russian)
22. Soltani S., Biron E., Ben Said L., Subirade M., Fliss I. Bacteriocin-based synergetic consortia: a promising strategy to enhance antimicrobial activity and broaden the spectrum of inhibition. *Microbiol Spectr*. 2022, V. 10, Is. 1, article e00406-21. DOI: 10.1128/spectrum.00406-21
23. Rzhetskaya V.S., Semenova E.F., Zaitsev G.P., Slastya E.A., Omelchenko A.V., Bugara I.A., Teplitzkaya L.M., Tsokalo I.E. Antagonistic effect of lactic acid bacteria and their consortium with yeaston pathogenic microorganisms. *Biotechnology*. 2021, V. 37, no. 5, pp. 96–107. DOI: 10.21519/0234-2758-2021-37-5-96-107. (In Russian)
24. Vera-Santander V.E., Hernández-Figueroa R.H., Jiménez-Munguía M.T., Mani-López E., López-Malo A. Health benefits of consuming foods with bacterial probiotics, postbiotics, and their metabolites: A review. *Molecules*. 2023, V. 28, no. 3, article 1230. DOI: 10.3390/molecules28031230
25. Kitaevskaya S.V., Ponomarev V.Y., Reshetnik O.A. Evaluation of the proteolytic activity of new cryoresistant lactobacillus strains. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022, V. 12, no. 1, pp. 76–86. doi:10.21285/2227-2925-2022-12-1-76-86. (In Russian)
26. Kitaevskaya S.V. Study of the ability of lactic acid bacteria to produce lipolytic enzymes. *Herald of Technological University*. 2015, V. 18, no. 18, pp. 256–258. (In Russian)
27. Lesnikova N.A., Kotova T.V. Improvement of biotechnology of bakery products. *Actual Biotechnology*. 2020, no. 3, pp. 214–217. DOI: 10.20914/2304-4691-2020-3-214-217. (In Russian)
28. Sungatullina A., Petrova T., Kharina M., Mikshina P., Nikitina E. Effect of flaxseed mucilage on the probiotic, antioxidant, and structural-mechanical properties of the different *Lactobacillus* cells. *Fermentation*. 2023, V.9, article 486. DOI: 10.3390/fermentation9050486.

### Информация об авторах

Дарья Рафаэловна Камартдинова – аспирант кафедры технологии пищевых производств

Светлана Владимировна Китаевская – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры технологии пищевых производств

Ольга Алексеевна Решетник – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии пищевых производств

Михаил Юрьевич Тюрин – магистрант кафедры технологии пищевых производств

### Information about the authors

Daria R. Kamartdinova, Postgraduate Student, Department of Food Production Technologies

Svetlana V. Kitaevskaya, D. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Food Production Technologies

Olga A. Reshetnik, D. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Food Production Technologies

Michael Yu. Turin, Undergraduate, Department of Food Production Technologies

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 07.02.2025

Одобрена после рецензирования 03.04.2025

Принята к публикации 07.04.2025

The article was submitted 07.02.2025

Approved after reviewing 03.04.2025

Accepted for publication 07.04.2025