

Оценка биотехнологического потенциала новых штаммов молочнокислых бактерий с криорезистентными свойствами

Светлана В. Китаевская	¹	kitaevskayas@mail.ru	 0000-0002-2211-8742
Ольга А. Решетник	¹	roa.olga@mail.ru	 0000-0001-5322-0769
Дарья Р. Камартдинова	¹	darya.kamartdinova@mail.ru	 0000-0002-7561-2795
Анна Н. Волостнова	¹	volostnova.anna@mail.ru	 0000-0003-4837-0732
Наталья К. Романова	¹	rnk5325@yandex.ru	 0000-0002-6334-2257

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет, К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия

Аннотация. Интенсивное внедрение в хлебопекарной отрасли технологий с использованием замораживания полуфабрикатов и готовой продукции требует новых подходов в разработке стартовых культур для хлебопекарной отрасли, что обусловлено в первую очередь снижением жизнеспособности клеток и изменением их функционально-технологических свойств при низкотемпературном воздействии. В этой связи, исследования, направленные на поиск, селекцию, изучение свойств новых штаммов молочнокислых бактерий, обладающих криорезистентными свойствами, являются своевременными и актуальными. В настоящей работе проведено сравнительная оценка биотехнологического потенциала ранее выделенных штаммов молочнокислых бактерий, обладающих высокой устойчивостью к низкотемпературной обработке, с целью выявления перспективных для применения их в криотехнологии хлебобулочных изделий. Установлено, что штаммы *L. bavaricus* 6, *L. casei* 32 и *L. plantarum* 24 проявляют высокую толерантность к ряду антибиотиков, отличаются широким спектром антибактериального действия, подавляют рост мицелиальных грибов и дрожжей, имеют высокую протеолитическую активность, а также характеризуются как соле-, желче-, кислото- и фенолоустойчивые штаммы. Это служит основой для прогнозирования их пробиотических свойств и делает перспективным их использование для разработки новых продуктов питания с функциональными свойствами. Проведенные исследования позволяют рекомендовать данные штаммы для включения в состав стартовых заквасок для производства ферментированных продуктов питания с применением криогенных технологий, в том числе хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов. Данные штаммы могут быть также рекомендованы для разработки биологически активных добавок для пищевой, фармацевтической, косметической промышленности и ветеринарии.

Ключевые слова: молочнокислые бактерии, *Lactobacillus*, криотехнологии, хлебобулочные изделия.

Evaluation of biotechnological potential of new strains of lactic acid bacteria with cryoresistant properties

Svetlana V. Kitaevskaya	¹	kitaevskayas@mail.ru	 0000-0002-2211-8742
Olga A. Reshetnik	¹	roa.olga@mail.ru	 0000-0001-5322-0769
Darya R. Kamartdinova	¹	darya.kamartdinova@mail.ru	 0000-0002-7561-2795
Anna N. Volostnova	¹	volostnova.anna@mail.ru	 0000-0003-4837-0732
Natalia K. Romanova	¹	rnk5325@yandex.ru	 0000-0002-6334-2257

¹ Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia

Abstract. Intensive introduction in the baking industry of technologies using freezing of semi-finished and finished products requires new approaches in the development of starter cultures for baking, which is primarily due to a decrease in cell viability and changes in their functional and technological properties under low-temperature exposure. In this regard, research aimed at the search, selection, study of new lactic acid bacteria strains with cryoresistant properties is timely and relevant. In the present work, a comparative assessment of the biotechnological potential of previously isolated strains of lactic acid bacteria with high resistance to low-temperature treatment was carried out. It was found that strains *L. bavaricus* 6, *L. casei* 32 and *L. plantarum* 24 show high tolerance to a number of antibiotics, are characterized by a wide spectrum of antibacterial action, inhibit the growth of mycelial fungi and yeasts, have high proteolytic activity, and are also characterized as salt-, bile-, acid- and phenolu-resistant strains. This serves as a basis for predicting their probiotic properties and makes it promising to use them for the development of new food products with functional properties. The conducted studies allow us to recommend these strains for inclusion in the composition of starter starters for fermented foods products using cryogenic technologies, including bakery products based on frozen semi-finished products. These strains can be recommended for the development of biologically active additives for food, pharmaceutical, cosmetic industries and veterinary.

Keywords: lactic acid bacteria, *Lactobacillus*, cryotechnology, bakery.

Для цитирования

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 ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 63–69. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-63-69

For citation

Kitaevskaya 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 VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 63–69. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-63-69

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

Введение

На основе анализа биотехнологических свойств микроорганизмов во всем мире создаются различные варианты заквасок, состоящих из монокультур или же их сочетаний; комплексных заквасок с другими группами микроорганизмов, позволяющие в максимальной степени реализовать биотехнологический потенциал отдельных штаммов и их консорциумов [1–6].

Промышленно-ценными культурами микроорганизмов, применяемых в составе большинства заквасок для пищевых продуктов, в том числе и хлебобулочных изделий, являются молочнокислые бактерии, относящиеся к роду *Lactobacillus*, и проявляющие высокую ферментативную активность, устойчивость к кислотам, солям и др., а также синтезирующие широкий спектр биологически активных соединений [7–11]. Особый интерес представляют протеолитические ферменты молочнокислых бактерий, которые в основном формируют текстуру, специфический вкус и аромат ферментированных пищевых продуктов, влияя на их биологическую ценность [12–15].

В настоящее время в хлебопекарной промышленности наметилась стойкая тенденция к росту выпуска замороженных тестовых полуфабрикатов, однако при реализации процессов криогенной технологии хлеба наблюдается ухудшение качественных характеристик готовой продукции, связанного в первую очередь с гибелью микрофлоры при низкотемпературном хранении [16–19], в связи с чем работа, направленная на поиск и разработку новых стартовых заквасок с криорезистентными свойствами является актуальной.

Целью настоящей работы является поиск устойчивых к низкотемпературному воздействию штаммов молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus* и оценка их биотехнологического потенциала.

Материалы и методы

В ходе многолетней работы по поиску криорезистентных функционально-активных штаммов молочнокислых бактерий из различных пищевых источников растительного и животного происхождения нами было отобрано 15 перспективных штаммов молочнокислых бактерий р. *Lactobacillus*, обладающих высокой устойчивостью к низкотемпературному воздействию (выживаемость клеток при температуре -30°C не менее 80%). Данные штаммы хорошо размножаются в широком диапазоне температур от 15 до 45°C , температурный оптимум составляет $30\text{--}37^{\circ}\text{C}$, оптимальное значение $\text{pH} = 5,5\text{--}6,2$ [6, 20].

Оценку функционально-технологических свойств штаммов оценивали по способности их к кислотообразованию при росте на обезжиренном молоке, активности его сквашивания, количеству клеток молочнокислых бактерий, степени синерезиса, вязкости и плотности сгустка. О протеолитической активности молочнокислых бактерий судили по количеству неосаждаемых трихлоруксусной кислотой продуктов бактериального протеолиза [20], в качестве субстрата использовали 1% растворы сывороточного альбумина и казеина. Антагонистические свойства штаммов оценивали измерением зон подавления роста тест-культур патогенных и условно-патогенных микроорганизмов [3]. Оценку чувствительности штаммов к антибиотическим веществам проводили по диаметру зоны задержки роста исследуемых штаммов вокруг дисков, пропитанных антибиотиками [3, 21]. Для изучения устойчивости штаммов к неблагоприятным условиям проведены исследования по сравнительной выживаемости штаммов молочнокислых бактерий при экспозиции 24 ч в жидкой среде с различными концентрациями желчи (20 и 40%), фенола (0,4%) и соли (6,5%) [3].

Результаты

В настоящей работе проведено сравнительное изучение важных функционально-технологических свойств ранее выделенных штаммов криорезистентных молочнокислых бактерий с целью выявления перспективных для применения их в производстве хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов. Выбор штаммов молочнокислых микроорганизмов проводили с учетом важнейших функциональных свойств – энергии кислотообразования, антагонистической активности, синтезу протеолитических ферментов, по способности сохранять активность в неблагоприятных условиях окружающей среды.

Все изучаемые штаммы быстро ферментируют молоко, образуя при этом сгустки плотной однородной консистенции с чистым кисло-молочным вкусом, исключение составляют штаммы, относящиеся к видам *L. fermentum* и *L. brevis*, образующие рыхлые сгустки с отделением сыворотки. Выявлено, что все штаммы хорошо развиваются при $\text{pH} = 3$ и в щелочной среде при $\text{pH} = 9,2$, однако снижение pH до 2,0 ингибирует рост большинства лактобактерий (таблица 1).

Установлено, что процент выживаемости клеток в присутствии в жидкой среде различных концентраций NaCl , фенола и желчи существенно зависит от вида и штамма криорезистентных лактобактерий (рисунок 1).

Таблица 1.

Способность штаммов к росту и кислотообразованию

Table 1.

Growth and acid-forming ability of strains

Штамм Strain	Рост Growth		Выживаемость, % Survival, %			Ферментация молока Fermentation of milk			
	15 °C	45 °C	pH 2,0	pH 3,0	pH 9,2	Время, ч Time, h	Кислотность, °T Acidity, °T	pH	Lg LAB
<i>L. casei</i> 1	+	-	-	17,1	80,2	6	106	4,64	10,34
<i>L. casei</i> 7	+	-	2,4	24,3	63,8	6	108	4,63	10,25
<i>L. casei</i> 16	-	+	10,2	28,0	70,5	7	108	4,70	10,0
<i>L. casei</i> 23	-	+	7,1	21,5	67,7	6	110	4,68	9,72
<i>L. casei</i> 32	+	+	10,8	28,6	72,9	4	120	4,59	10,48
<i>L. casei</i> 36	+	-	4,4	29,4	59,8	6	110	4,71	10,27
<i>L. fermentum</i> 10	+	-	13,5	36,8	77,1	7	104	4,70	9,73
<i>L. fermentum</i> 12	+	+	4,0	11,9	81,4	8	106	4,76	9,98
<i>L. fermentum</i> 13	+	-	12,6	34,5	72,8	6	100	4,75	9,58
<i>L. fermentum</i> 24	+	-	7,9	19,7	96,1	7	112	4,77	10,38
<i>L. plantarum</i> 1	+	-	-	15,9	74,0	6	104	4,71	9,89
<i>L. plantarum</i> 21	+	-	2,9	19,2	64,3	6	102	4,70	9,18
<i>L. acidophilum</i> 9	-	+	18,3	41,6	76,9	4	119	4,62	9,32
<i>L. bavaricus</i> 6	-	+	15,6	49,0	79,4	6	112	4,67	10,28
<i>L. brevis</i> 3	+	-	2,2	16,2	84,8	14	76	5,00	8,69

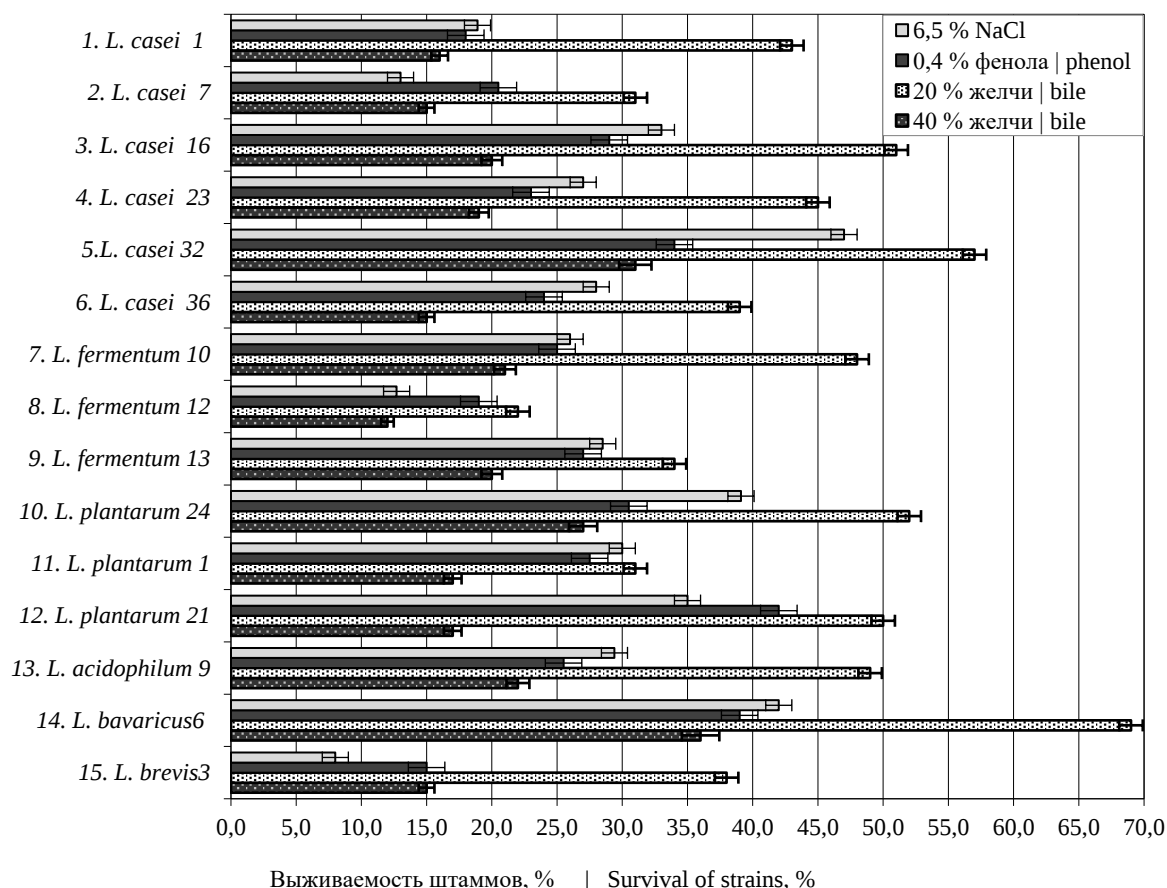


Рисунок 1. Устойчивость штаммов к неблагоприятным факторам окружающей среды

Figure 1. Resistance of strains to unfavorable environmental factors

При внесении в питательную среду желчи в количестве 20 и 40% наблюдается ингибирование роста и кислотообразования, так степень выживаемости клеток при концентрации желчи 20% составляет 20–69%, а при концентрации 40% – 12–36% в зависимости от штамма.

Установлено, что все исследуемые лактобактерии проявляют устойчивость к присутствию в среде фенола в количестве 0,4% и способны развиваться в присутствии хлорида натрия в концентрации 6,5%.

Все штаммы обладают выраженной антагонистической активностью по отношению к *E. coli* и *B. subtilis*. Некоторые исследуемые штаммы (*L. casei* 16, *L. casei* 23, *L. fermentum* 10 и *L. bavaricus* 3) проявляют антагонистическую активность по отношению *S. aureus*, *L. casei* 23, *L. casei* 32 ингибируют рост *Pr. vulgaris*. По отношению к *Ps. aeruginosa* исследуемые штаммы

проявляют низкую активность. Следует отметить, что многие штаммы молочнокислых бактерий не проявляют ингибиторную активность по отношению к плесневым грибам и дрожжам, максимальной антагонистической активностью обладают *L. casei* 32, *L. casei* 36, *L. fermentum* 10 и *L. plantarum* 24 (таблица 2).

Таблица 2.

Антимикробный спектр действия криорезистентных молочнокислых бактерий

Table 2.

Antimicrobial spectrum of action of cryoresistant lactic acid bacteria

Тестовые штаммы Test-strains	Штаммы молочнокислых бактерий Strains of lactic acid bacteria														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Ингибирующий эффект, мм Inhibitory effect, mm														
<i>Staphylococcus aureus</i>	-	6	12	10	12	4	14	4	10	8	2	2	-	18	-
<i>Escherichia coli</i>	25	14	20	22	27	18	28	22	20	22	14	15	16	30	24
<i>Proteus vulgaris</i>	7	4	9	10	10	6	2	2	6	4	2	5	8	8	2
<i>Bacillus Subtilis</i>	14	16	18	18	25	23	21	19	20	24	15	18	18	11	12
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5	-	-	-	8	4	2	4	2	3	-	-	-	3	2
<i>Penicillium chrysogenum</i>	-	-	-	-	12	11	15	-	-	10	-	-	-	-	-
<i>Fusarium oxysporum</i>	-	-	8	-	10	10	16	-	-	8	-	-	-	6	-
<i>Aspergillus niger</i>	-	-	6	-	14	10	12	-	-	8	-	6	-	6	-
<i>Candida quilliermondii</i>	-	-	-	-	17	14	10	-	-	10	-	4	-	11	-

Оценка устойчивости молочнокислых бактерий к антибиотикам показала, что большинство штаммов проявляют устойчивость к неомицину, карбенициллину, канамицину и ристомицину, кроме того, штаммы *L. casei* 32, *L. casei* 36, *L. plantarum* 24 и *L. bavaricus* 6 проявляют резистентность к стрептомицину и метициллину. Установлено, что все исследуемые штаммы высокочувствительны к тетрациклину, бензилпенициллину, левомицетину, рифамицину, цефалексину и цефалотину, за исключением *L. fermentum* 24, который резистентен к бензилпенициллину, рифамицину. Штаммы *L. casei* 23, *L. plantarum* 1 и *L. brevis* 3 проявляют чувствительность к линкомицину, *L. plantarum* 1, *L. plantarum* 21, *L. fermentum* 12 – к доксицилину.

Результаты исследования протеолитической активности исследуемых штаммов (рисунок 2) показали, что в процессе ферментации

казеина наблюдается интенсивное снижение количества протеина относительно контроля, наиболее выраженные изменения характерны для штаммов *L. casei* 32, *L. casei* 36, *L. fermentum* 10, *L. acidophilum* 9, для данных молочнокислых бактерий степень гидролиза казеина составляет в среднем 75–80%. Наименьшую способность гидролизовать белки продемонстрировали штаммы *L. casei* 16, *L. plantarum* 1, *L. bavaricus* 6 степень гидролиза казеина данными лактобактериями составляет 45,2%, 32,8% и 36,7% соответственно. Аналогичные результаты были получены при оценке протеолитической активности исследуемых штаммов молочнокислых бактерий при ферментации альбумина, однако способность микроорганизмов гидролизовать данный белок ниже в среднем на 10–15% по сравнению со степенью протеолиза, продемонстрированной на казеине.

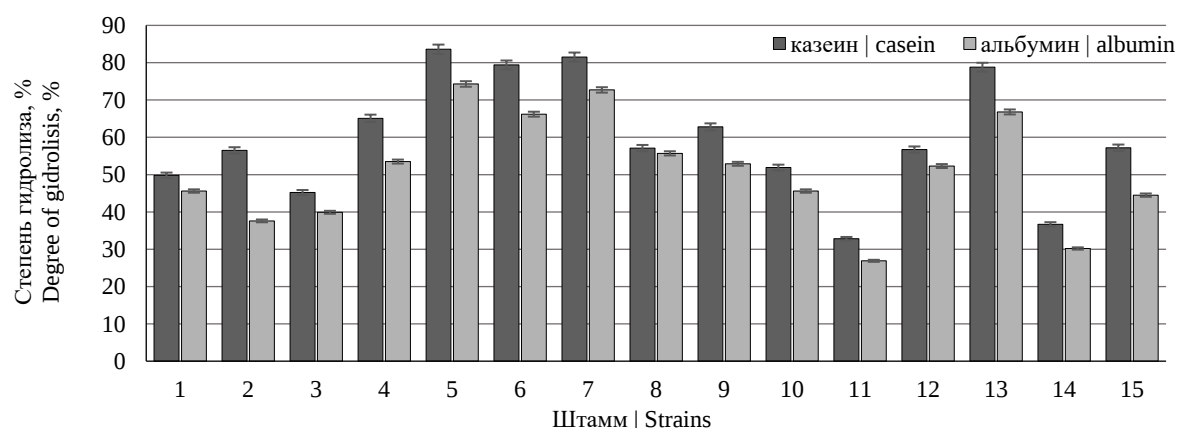


Рисунок 2. Степень гидролиза белков криорезистентными штаммами лактобактерий

Figure 2. Degree of protein hydrolysis by cryoresistant Lactobacillus strains

Обсуждение

Анализ полученных результатов показывает, что по технологическим показателям все штаммы подходят для производственных целей, за исключением *L. brevis* 3, что подтверждают данные об изучении активности свёртывания обезжиренного молока (не более 8 ч), конечные значения pH среды и титруемой кислотности, высокие показатели жизнеспособных клеток (не менее 10^9 КОЕ/см³), качество молочного сгустка.

Установлено, наибольшей кислотоустойчивостью отличаются *L. acidophilum* и *L. bavaricus*, данные штаммы способны развиваться в кислой среде при pH = 2,0. Все штаммы развиваются при pH = 3,0, больший процент выживаемости у штаммов *L. bavaricus* 6 – 49%, *L. acidophilum* 9 – 41%, *L. fermentum* 10 – 36% и *L. fermentum* 13 – 34%. Значение pH = 9,2 не ингибирует рост и развитие тестируемых штаммов бактерий (процент жизнеспособных клеток 65–95%), наибольшей устойчивостью к щелочным значениям pH отличаются штаммы *L. plantarum* 24 и *L. brevis* 3 – 96% и 84% соответственно.

В результате проведенных исследований выявлены наиболее устойчивые к желчи штаммы – *L. bavaricus* 6, *L. casei* 32, *L. casei* 23, *L. plantarum* 24 и *L. plantarum* 21.

Штаммы *L. plantarum* 21, *L. bavaricus* 6, *L. fermentum* 24, *L. casei* 16 и *L. casei* 32 продемонстрировали достаточно высокий уровень выживаемости (более 30%) клеток при концентрации NaCl в среде культивирования 6,5%. Данные штаммы, за исключением *L. casei* 16, являются наиболее перспективными по показателю толерантности к фенолу, выживаемость клеток при дозировке фенола 0,4% превышает 30%.

В результате изучения спектров антибиотического действия криорезистентных молочнокислых бактерий выявлены штаммы, способные эффективно подавлять рост бактерий, мицелиальных грибов и дрожжей – *L. casei* 32, *L. casei* 36, *L. fermentum* 10 и *L. fermentum* 24.

Особую устойчивость к ряду антибиотиков проявляют три криорезистентных штамма молочнокислых бактерий – *L. casei* 32, *L. plantarum* 24 и *L. bavaricus* 6.

Анализ полученных данных по изучению влияния штаммов молочнокислых бактерий на

содержание продуктов гидролиза в модельных белковых системах свидетельствуют о высокой протеолитической способности культур *L. casei* 32, *L. casei* 36, *L. fermentum* 10, *L. acidophilum* 9, причем данные штаммы молочнокислых бактерий эффективно воздействует не только казеин, но и на альбумин.

Заключение

Результаты комплексного изучения функционально-технологических свойств штаммов молочнокислых бактерий показали, что все исследуемые штаммы могут быть использованы в пищевой промышленности, так как удовлетворяют главным технологическим требованиям к стартовым культурам ферментируемых продуктов питания. Четыре штамма молочнокислых бактерий – *L. bavaricus* 6, *L. casei* 32, *L. plantarum* 21 и *L. plantarum* 24 характеризуются как наиболее устойчивые к неблагоприятным факторам среды (таким как низкое значение pH, высокие концентрации желчи, NaCl и фенола), что служит основой для прогнозирования их пробиотических свойств, то есть способности сохранения ферментативной активности при прохождении через желудочно-кишечный тракт и приживаемости в кишечнике; три из которых – *L. bavaricus* 6, *L. casei* 32 и *L. plantarum* 24 проявляют наибольшую антибиотикоустойчивость и антагонистическую активность по отношению к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам. Кроме того, данные штаммы демонстрируют высокую протеолитическую активность, что позволяет сделать вывод о перспективности их применения в технологии ферментированных продуктов питания. Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать штаммы молочнокислых бактерий – *L. casei* 32, *L. bavaricus* 6 и *L. plantarum* 24 для дальнейшего использования в пищевой промышленности в технологии функциональных пищевых продуктов.

Представленные в данной статье результаты по оценке биотехнологического потенциала новых штаммов молочнокислых бактерий с криорезистентными свойствами в дальнейшем послужат для разработки консорциума новых стартовых заквасок на основе лактобактерий для хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов.

Литература

- 1 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
- 2 Бегунова А.В., Рожкова И.В., Ширинова Т.И., Крысанова Ю.И. Потенциал молочнокислых бактерий в снижении уровня холестерина // Пищевая промышленность. 2020. №11. С. 12-15. doi:10.24411/0235-2486-2020-10119
- 3 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 ВГУИТ. 2021. №1 (87). С. 219-232. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-219-232

- 4 Волкова Г.С., Серба Е.М. Биотехнологические свойства закваски на основе консорциума промышленных штаммов молочнокислых бактерий // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 4(376). С. 73-77. doi:10.26297/0579-3009.2020.4.17
- 5 Хромова Н.Ю., Епишкина Ю.М., Хабибулина Н.В., Шакир И.В. и др. Поиск перспективных пробиотических штаммов лакто- и бифидобактерий в комбинации с оценкой витамин-В-продуцирующего потенциала для создания биообогащенных продуктов // Актуальная биотехнология. 2022. № 1. С. 204-207.
- 6 Kitaevskaya S.V., Ponomarev V.Y., Hasanova A.F., Romanova N.K. Biotechnological potential of new strains of lactic acid bacteria // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. V. 421. №. 5. P. 052018. doi:10.1088/1755-1315/421/5/052018
- 7 Sanlier N., Gokcen B.B., Sezgin A.C. Health benefits of fermented foods // Critical reviews in food science and nutrition. 2019. V. 59. №. 3. P. 506-527. doi: 10.1080/10408398.2017.1383355
- 8 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. V. 103. P. 36-48. doi:10.1016/j.tifs.2020.06.003
- 9 Thumu S.C.R., Halami P.M. In vivo safety assessment of Lactobacillus fermentum strains, evaluation of their cholesterol-lowering ability and intestinal microbial modulation // Journal of the Science of Food Agriculture. 2020. № 100 (2). P. 705-713. doi:10.1002/jsfa.10071
- 10 Nikitina E., Petrova T., Vafina A., Ezhkova A. et al. Textural and functional properties of skimmed and whole milk fermented by novel *Lactiplantibacillus plantarum* AG10 strain isolated from silage // Fermentation. 2022. V. 8 (6). P. 290-296. doi:10.3390/fermentation8060290
- 11 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/S0234275822010070
- 12 Maske B.L., Pereira G.V., Vale A.S., Neto D.P. et al. A review on enzyme-producing lactobacilli associated with the human digestive process: From metabolism to application // Enzyme and Microbial Technology. 2021. V. 149. P. 109836. doi: 10.1016/j.enzymtec.2021.109836
- 13 Sun F., Hu Y., Yin X., Kong B., Qin L. Production, purification and biochemical characterization of the microbial protease produced by *Lactobacillus fermentum* R6 isolated from Harbin dry sausages // Process Biochemistry. 2020. V. 89. P. 37-45. doi: 10.1016/j.procbio.2019.10.029
- 14 Tagliazucchi D., Martini S., Solieri L. Bioprospecting for bioactive peptide production by lactic acid bacteria isolated from fermented dairy food // Fermentation. 2019. V. 5. №. 4. P. 96. doi:10.3390/fermentation5040096
- 15 Cao C.C., Feng M.Q., Sun J., Xu X.L. et al. Screening of lactic acid bacteria with high protease activity from fermented sausages and antioxidant activity assessment of its fermented sausages // CyTA - Journal of Food. 2019. V. 17. №. 1. P. 347-354 doi:10.1080/19476337.2019.1583687
- 16 Majzoobi M., Aghdam M.B.K., Eskandari M. H., Farahnaky A. Quality and microbial properties of symbiotic bread produced by straight dough and frozen part-baking methods // J. of Tex. St. 2019. V. 50(2). P. 165-171. doi:10.1111/jtxs.12386
- 17 Varmola E., Bedade D., Deshaware S. et al. Evaluation of baking conditions for frozen doughs // J. of Food Meas. and Char. 2019. V.13(4). P. 3307-3317. doi:10.1007/s11694-019-00253-x
- 18 Герасимова Э.О., Лабутина Н.В. Криогенные технологии в хлебопечении // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 1. С. 6-9. doi:10.26297/0579-3009.2019.1.1
- 19 Lancelot E., Fontaine J., Grua-Priol J., Le-Bail A. Effect of long-term storage conditions on wheat flour and bread baking properties // Food Chem. 2021. V. 61. P. 128902. doi:10.1016/j.foodchem.2020.128902
- 20 Китаевская 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
- 21 Liu A., Xu R., Zhang S. et al. Antifungal mechanisms and application of lactic acid bacteria in bakery products // Front. Microbiol. 2022. V. 13. P. 398-412. doi:10.3389/fmicb.2022.924398

References

- 1 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).
- 2 Begunova A.V., Rozhkova I.V., Shirshova T.I., Krysanova Ju.I. The potential of lactic acid bacteria in cholesterol level reduction. Food processing industry. 2020. no. 11. pp. 12-15. (in Russian).
- 3 Vesnina A.D., Prosekov A.Yu., Kozlova O.V., Kurbanova M.G. et al. Development of a probiotic consortium for people with cancer. Proceedings of VSUET. 2021. no. 1 (87). pp. 219-232. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-219-232 (in Russian).
- 4 Volkova G.S., Serba E.M. Biotechnological properties of starter culture on based a consortium of industrial strains of lactic acid bacteria. Proceedings of Universities. Food technology. 2020. no. 4(376). pp. 73-77. doi:10.26297/0579-3009.2020.4.17 (in Russian).
- 5 Khromova N.Yu., Epishkina Y.M., Khabibulina N.V., Shakir I.V., Panfilov V.I. Search for promising probiotic strains of lacto- and bifidobacteria in combination with an assessment of vitamin-B-producing potential for the creation of bio-enriched products. Topical biotechnology. 2022. no. 1. pp. 204-207. (in Russian).
- 6 Kitaevskaya S. V., Ponomarev V.Y., Hasanova A.F., Romanova N.K. Biotechnological potential of new strains of lactic acid bacteria. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. vol. 421(1). no. 052018. doi:10.1088/1755-1315/421/5/052018
- 7 Sanlier N., Gokcen B.B., Sezgin A.C. Health benefits of fermented foods. Critical reviews in food science and nutrition. 2019. vol. 59. no. 3. pp. 506-527. doi: 10.1080/10408398.2017.1383355
- 8 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. vol. 103. pp. 36-48. doi:10.1016/j.tifs.2020.06.003

- 9 Thumu S.C.R., Halami P.M. In vivo safety assessment of *Lactobacillus fermentum* strains, evaluation of their cholesterol-lowering ability and intestinal microbial modulation. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 2020. no. 100 (2). pp. 705-713. doi:10.1002/jsfa.10071
- 10 Nikitina E., Petrova T., Vafina A., Ezhkova A. et al. Textural and functional properties of skimmed and whole milk fermented by novel *Lactiplantibacillus plantarum* AG10 strain isolated from silage. *Fermentation*. 2022. vol. 8 (6). pp. 290-296. doi:10.3390/fermentation8060290
- 11 Stoyanova L.G., Dbar S.D., Polyanskaya I.S. Metabiotic properties of *Lactobacillus acidophilus* strains included in complex starter cultures for probiotic dairy products. *Biotechnology*. 2022. vol. 38. no. 1. pp. 3-12. doi: 10.56304/S0234275822010070 (in Russian).
- 12 Maske B.L., Pereira G.V., Vale A.S., Neto D.P. et al. A review on enzyme-producing lactobacilli associated with the human digestive process: From metabolism to application. *Enzyme and Microbial Technology*. 2021. vol. 149. pp. 109836. doi: 10.1016/j.enzmtec.2021.109836
- 13 Sun F., Hu Y., Yin X., Kong B. et al. Production, purification and biochemical characterization of the microbial protease produced by *Lactobacillus fermentum* R6 isolated from Harbin dry sausages. *Process Biochemistry*. 2020. vol. 89. pp. 37-45. doi:10.1016/j.procbio.2019.10.029
- 14 Tagliazucchi D., Martini S., Solieri L. Bioprospecting for bioactive peptide production by lactic acid bacteria isolated from fermented dairy food. *Fermentation*. 2019. vol. 5. no. 4. pp. 96. doi:10.3390/fermentation5040096
- 15 Cao C.C., Feng M.Q., Sun J., Xu X.L. et al. Screening of lactic acid bacteria with high protease activity from fermented sausages and antioxidant activity assessment of its fermented sausages. *CyTA – Journal of Food*. 2019. vol. 17. no. 1. pp. 347-354. doi:10.1080/19476337.2019.1583687
- 16 Majzoobi M., Aghdam M.B.K., Eskandari M.H., Farahnaky A. Quality and microbial properties of symbiotic bread produced by straight dough and frozen part-baking methods. *J. of Tex. St.* 2019. vol. 50(2). pp. 165-171. doi:10.1111/jtxs.12386
- 17 Varmola E., Bedade D., Deshaware S. et al. Evaluation of baking conditions for frozen doughs. *J. of Food Meas. and Char.* 2019. vol. 13(4). pp. 3307-3317. doi:10.1007/s11694-019-00253-x
- 18 Gerasimova E.O., Labutina N.V. Cryogenic technologies in bakery. *Proceedings of Universities. Food technology*. 2019. no. 1. pp. 6-9. doi:10.26297/0579-3009.2019.1.1 (in Russian).
- 19 Lancelot E., Fontaine J., Grua-Priol J., Le-Bail A. Effect of long-term storage conditions on wheat flour and bread baking properties. *Food Chem.* 2021. vol. 61. pp. 128902. doi:10.1016/j.foodchem.2020.128902
- 20 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. vol. 12. no. 1. pp. 76-86. doi:10.21285/2227-2925-2022-12-1-76-86 (in Russian).
- 21 Liu A., Xu R., Zhang S. et al. Antifungal mechanisms and application of lactic acid bacteria in bakery products. *Front. Microbiol.* 2022. vol. 13. pp. 398-412. doi:10.3389/fmicb.2022.924398.

Сведения об авторах

Светлана В. Китаевская к.т.н., доцент, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, kitaevskayas@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-2211-8742>

Ольга А. Решетник д.т.н., профессор, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, roa.olga@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5322-0769>

Дарья Р. Камартинова аспирант, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, darya.kamartdinova@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7561-2795>

Анна Н. Волостнова к.с.-х.н., доцент, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, volostnova.anna@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4837-0732>

Наталья К. Романова к.т.н., доцент, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, rnk5325@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6334-2257>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Svetlana V. Kitaevskaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food production technology department, Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, kitaevskayas@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-2211-8742>

Olga A. Reshetnik Dr. Sci. (Engin.), professor, food production technology department, Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, roa.olga@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5322-0769>

Darya R. Kamartdinova graduate student, food production technology department, Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, darya.kamartdinova@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7561-2795>

Anna N. Volostnova Cand. Sci. (Agr.), associate professor, food production technology department, Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, volostnova.anna@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4837-0732>

Natalia K. Romanova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food production technology department, Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, rnk5325@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6334-2257>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/10/2023	После редакции 30/10/2023	Принята в печать 22/11/2023
Received 12/10/2023	Accepted in revised 30/10/2023	Accepted 22/11/2023