

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК 602.3:579.864

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-253-264>

Поступила в редакцию 31.01.2025

Received 31.01.2025

А. П. Никифорова¹, В. М. Позняковский²¹ *Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация*² *Кемеровский государственный медицинский университет, Кемерово, Российская Федерация*

БАКТЕРИАЛЬНАЯ ЗАКВАСКА *LATILACTOBACILLUS SAKEI* НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Аннотация. Молочная сыворотка широко применяется в качестве основы для питательной среды при производстве бактериальных заквасок, однако в последние годы научный интерес представляют бактериальные культуры на основе растительного сырья. Наиболее часто для создания пробиотических бактериальных культур используются штаммы молочнокислых бактерий. Целью работы является разработка технологии производства бактериальной закваски молочнокислых бактерий вида *Latilactobacillus sakei* на основе рисовой муки. Объектами экспериментальных исследований служили три штамма молочнокислых бактерий вида *Latilactobacillus sakei*, закваски, изготовленные с применением этих штаммов. Для культивирования молочнокислых бактерий использовали полужидкую среду MRS и специально разработанную авторами питательную среду на основе рисовой муки. Рост штаммов *Latilactobacillus sakei* на указанных средах оценивали по количеству жизнеспособных клеток. Установлено, что разработанная новая питательная среда на основе ингредиентов растительного происхождения позволяет получить бактериальные закваски, обладающие хорошими показателями качества и безопасности (соответствуют требованиям технического регламента ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции») и содержащие высокое количество жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий (не менее 10^8 КОЕ/см³). В результате проведенных исследований разработаны новые технологии производства жидкой и замороженной бактериальных заквасок из растительных ингредиентов, содержащих штаммы *Latilactobacillus sakei*, которые могут применяться при производстве пищевых продуктов.

Ключевые слова: *Latilactobacillus sakei*, молочнокислые бактерии, бактериальные культуры, бактериальные закваски, питательная среда, растительные компоненты

Для цитирования: Никифорова, А. П. Бактериальная закваска *Latilactobacillus sakei* на основе растительных компонентов / А. П. Никифорова, В. М. Позняковский // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 3. – С. 253–264. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-253-264>

Anna P. Nikiforova¹, Valery M. Poznyakovsky²¹ *ITMO University, Saint Petersburg, Russian Federation*² *Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russian Federation*

PLANT-BASED BACTERIAL STARTER CULTURE *LATILACTOBACILLUS SAKEI*

Abstract. Milk whey is widely used as a main component for a nutrient medium for the production of bacterial starter cultures, but in recent years, bacterial cultures produced from plant-based components have great scientific interest. Lactic acid bacteria strains are often used to create probiotic bacterial cultures. In this regard, the aim of the present study is to develop a technology for the production of a plant-based bacterial starter culture containing *Latilactobacillus sakei*. The objects of experimental studies were three strains *Latilactobacillus sakei*, and starter cultures made with the use of these strains. For the cultivation of lactic acid bacteria, MRS medium and a specially developed nutrient medium based on rice flour were used. The growth of *Latilactobacillus sakei* strains on these media was assessed by the number of viable cells. It has been proved that the new plant-based ingredients nutrient medium allows to obtain bacterial starters with good quality and safety indicators. In terms of safety indicators, they meet the requirements of the Technical Regulation of Customs Union 033/2013 “On the safety of milk and dairy products” and contain a high number of viable cells of lactic acid bacteria (at least 10^8 CFU/cm³). As a result of the study, new technologies have been developed for the production of liquid and frozen plant-based bacterial starter cultures containing *Latilactobacillus sakei* strains, which can be used in the production of food products.

Keywords: *Latilactobacillus sakei*, lactic acid bacteria, bacterial cultures, bacterial starter cultures, nutrient medium, plant components

For citation: Nikiforova A. P., Poznyakovsky V. M. Plant-based bacterial starter culture *Latilactobacillus sakei*. *Vesti Natsyonal'noi akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 3, pp. 253–264 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-3-253-264>

Введение. В связи с тем, что бактерии могут быть использованы для производства широкого спектра пищевых продуктов и добавок, разработка бактериальных препаратов для пищевой промышленности представляет большой научный интерес. При создании бактериальных культур в основном используются пробиотические микроорганизмы. В соответствии с ГОСТ Р 52349-2005 они относятся к функциональным пищевым ингредиентам. Пробиотики обладают иммуномодулирующими свойствами, улучшают работу пищеварительной системы. Установлено, что регулярное употребление пробиотических продуктов питания положительно влияет на здоровье человека: они оказывают противовоспалительный эффект, обладают антидиабетической активностью, улучшают состояние при аллергии [1, 2]. Некоторые пробиотические штаммы могут применяться для снижения артериального давления у людей с гипертонией, нормализации уровня холестерина, уменьшения уровня тревожности, депрессии и стресса [1].

К наиболее применяемым в качестве пробиотических относятся бактерии родов *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*. Также в составе пробиотических бактериальных препаратов применяются другие виды бактерий, например родов *Propionibacterium*, *Bacillus*, *Enterococcus*, непатогенные штаммы *E. coli*, а также дрожжи, такие как *Saccharomyces boulardii* [3–6].

Молочнокислые бактерии – грамположительные, неспорообразующие микроорганизмы, которые в качестве ключевых продуктов ферментации производят молочную кислоту [7].

Применение молочнокислых бактерий в пищевой промышленности обусловлено рядом преимуществ. Например, их использование обеспечивает снижение активной кислотности среды, а многие штаммы молочнокислых бактерий способствуют формированию уникальных органолептических характеристик пищевых продуктов в результате образования соединений вкуса и аромата. К другим положительным свойствам молочнокислых бактерий относятся повышение безопасности и увеличение сроков годности пищевых продуктов [8].

Вызывает большой интерес использование молочнокислых бактерий для биоконсервации пищевого сырья. Установлено, что они способны продуцировать антимикробные вещества, которые обеспечивают угнетение патогенной и условно-патогенной микрофлоры.

Молочнокислые бактерии имеют высокий пробиотический потенциал. Пробиотические молочнокислые бактерии могут быть выделены из различных источников, таких как продукты питания, желудочно-кишечный тракт человека и животных и т. д. Например, авторы работы [9] проводили отбор пробиотических штаммов молочнокислых бактерий из египетских сыров. В результате из 33 выделенных штаммов было отобрано три штамма (*L. paracasei* BD3, *L. plantarum* BR4 и *L. fermentum* MR2), которые могут применяться в качестве пробиотиков.

Вид *Latilactobacillus sakei* достаточно распространен в природе. Бактерии этого вида были обнаружены в составе микрофлоры различных продуктов питания, в том числе напитков (саке), мясных продуктов (ферментированные колбасы), продуктов из овощей (квашеная капуста, кимчи и т. д.) [10–13]. Бактерии этого вида являются перспективными для применения в качестве пробиотиков.

В последнее время получили распространение бактериальные культуры и питательные среды, созданные с использованием растительных компонентов [14–17]. Это обусловлено ростом спроса на веганские продукты питания, которые должны изготавливаться без ингредиентов животного происхождения. Еще одной причиной создания бактериальных культур из растительных компонентов является то, что многие бактериальные закваски производятся с применением молочной сыворотки, которая содержит лактозу. Лактазная недостаточность (представляет собой вариант дисахаридазной недостаточности, в основе которой лежит нарушение расщепления лактозы) является распространенным состоянием в современном мире. В связи с этим растет спрос на продукцию, которая не содержит лактозы.

Так, авторы работы [14] изучали рост четырех штаммов молочнокислых бактерий и двух штаммов бифидобактерий, таких как *Lactobacillus acidophilus* (MJLA1 и La-5), *Lactobacillus paracasei subsp. paracasei* (LCSH1 и 01), *Bifidobacterium lactis* (BDBB2 и Bb-12), на пяти средах из растительных ингредиентов. Наилучшей для роста изучаемых штаммов была признана среда, содержащая 25 г/л соевого пептона, дрожжевой экстракт и моногидрат глюкозы.

В [15] исследуется возможность замены порошками семян растений мясного экстракта, дрожжевого экстракта, пептона в стандартной среде MRS для применения в составе вегетарианских продуктов питания. Исследование проводилось на одном из штаммов *Lactobacillus lactis*. Наилучшие результаты получены при использовании питательной среды с применением экстракта семян бобовых.

Исследования ряда ученых были направлены на разработку питательной среды на основе ингредиентов растительного происхождения для *Lactobacillus paracasei* IMC502. В работе [16] показано, что питательная среда, предназначенная для производства веганских продуктов, обеспечивает хороший рост биомассы исследуемого штамма. Кроме того, продемонстрировано, что большинство применяемых в составе классической среды для культивирования молочнокислых бактерий MRS солей не влияют на рост биомассы данного штамма. В связи с этим предлагается более простой состав питательной среды, которая может обеспечить высокое количество жизнеспособных клеток пробиотических микроорганизмов.

Цель исследований – разработать технологию получения бактериальной закваски молочнокислых бактерий вида *Latilactobacillus sakei* на основе ингредиентов растительного происхождения.

Объекты и методы исследования. Объектами экспериментальных исследований служили следующие штаммы молочнокислых бактерий *Latilactobacillus sakei*: LSK-45, LSK-103, LSK-104. Эти штаммы были получены из фонда Национального биоресурсного центра – Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (НБЦ ВКПМ) Государственного научно-исследовательского института генетики и селекции промышленных микроорганизмов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (ГосНИИгенетика).

Молочнокислые бактерии культивировали на жидкой среде MRS (De Man, Rogosa, Sharpe) (ООО «НПЦ «Биокомпас-С», г. Углич) и разработанной нами питательной среде на основе рисовой муки при оптимальной температуре, равной 37 °С.

Показателями роста *Latilactobacillus sakei* на питательных средах являлись количество жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий и значение активной кислотности питательной среды. Количественный учет молочнокислых микроорганизмов проводили методом предельных разведений на агаризованной среде MRS (ООО «НПЦ «Биокомпас-С», г. Углич).

При культивировании штаммов также определяли значения активной кислотности питательной среды с использованием рН-метра АНИОН-4100.

Выживаемость штаммов *Latilactobacillus sakei* (%) после замораживания вычисляли после культивирования, отделения биомассы, центрифугирования, внесения защитной среды и замораживания.

Для изучения морфологии клеток молочнокислых бактерий готовили препараты, окрашенные по Граму. Микроскопирование полученных препаратов проводили с использованием микроскопа МИКМЕД-6 (АО «ЛОМО», Россия).

Статистическую обработку результатов исследований выполняли с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2019. Исследования проводили в двух повторностях; высчитывали среднее значение, ошибку средней величины. Нулевая гипотеза отклонялась при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследований и их обсуждение. Для обеспечения хорошего роста микроорганизмов необходима питательная среда оптимального состава, которая содержит различные вещества, такие как аминокислоты, витамины, минералы и т. д. Эффективность производства биомассы бактериальных культур зависит от многих факторов, среди которых можно отметить состав питательной среды, рН, температуру и продолжительность культивирования и т. д. Следует отметить, что для обеспечения экономической эффективности производства бактериальных препаратов для пищевой промышленности большой интерес представляет оптимизация состава питательных сред [18, 19].

Молочная сыворотка широко применяется в качестве основы для питательной среды при производстве различных бактериальных заквасок [19–22]. Она содержит лактозу, которая составляет большую часть (около 70 %) сухого вещества, а также аминокислоты, пептиды, минеральные вещества (натрий, калий, кальций, фосфор и т. д.) и витамины. В то же время сыворотка

представляет собой ценное вторичное сырье, переработка которого является одной из важных задач пищевой промышленности. Вследствие этого использование сыворотки в качестве основы питательной среды для молочнокислых микроорганизмов является актуальным. Однако она может применяться не для всех штаммов молочнокислых бактерий. Например, установлено, что не все штаммы *Lactobacillus sakei* способны ферментировать лактозу, особенно это касается штаммов, выделенных из мясных продуктов [23, 24]. Так, в [23] было показано, что из шести изученных штаммов бактерий вида *Lb. sakei*, выделенных из традиционных итальянских колбас *Ventricina del Vastese*, только два способны ферментировать лактозу (*Lb. sakei* LS5 и LS6).

Молочнокислые бактерии имеют сложные потребности в питательных веществах. Для роста им необходимы углеводы, аминокислоты, витамины и нуклеотиды [25]. Так, вид *Lactobacillus sakei* считается одним из наиболее требовательных видов молочнокислых бактерий, поэтому большую значимость представляет разработка питательной среды для культивирования штаммов этого вида.

Наибольшую важность при разработке и совершенствовании технологий бактериальных препаратов для пищевой промышленности представляет оптимизация первых этапов производства. Таким образом, большую роль играет этап накопления биомассы микроорганизмов, который сильно зависит от состава питательной среды.

В связи с увеличением спроса на продукты, произведенные из растительных ингредиентов, большой интерес представляет разработка питательных сред для культивирования микроорганизмов, состоящих из компонентов исключительно растительного происхождения. В состав таких сред обычно входят пептон, дрожжевой экстракт, а также глюкоза [14, 16].

В данном исследовании в качестве основы питательной среды была выбрана рисовая мука. Рис и продукты, полученные из него, применялись исследователями в составе питательных сред для молочнокислых бактерий. Так, работа [26] была посвящена разработке технологии производства бактериальной закваски бифидобактерий (изучено применение штамма *Bifidobacterium longum* DK-100). В состав питательной среды для культивирования этого штамма входит рисовый отвар и ростовые компоненты. Однако этот способ отличается высокой трудоемкостью изготовления рисового отвара.

В [27] авторами было показано, что побочный продукт переработки зерна риса – рисовая мучка – является хорошим субстратом для культивирования молочнокислых бактерий (был изучен рост 11 штаммов *Lactobacillus* и *Pediococcus*).

Состав питательной среды разработанной нами бактериальной закваски представлен в табл. 1. Для приготовления питательной среды предварительно рисовую муку (60 г/дм³) смешивали с водой и доводили до кипения. В состав питательной среды также входил пептон. Для поддержания оптимальной буферной емкости также вводили натриевые и калиевые соли лимонной и уксусной кислоты. Магний хлористый использовали для стабилизации действия ферментов, а в качестве редуцирующего вещества – аскорбиновую кислоту [22]. Источником углерода служила глюкоза. Проведенная в [16] оценка различных источников углерода при культивировании штамма молочнокислых бактерий *Lactobacillus paracasei* IMC502 показала, что глюкоза и сахара оказывают положительное влияние на рост бактерий; рост на среде с применением этих

Таблица 1. Состав питательной среды

Table 1. Nutrient medium composition

Компонент	Содержание, г/дм ³
Глюкоза	15
Магний хлористый	0,3
Натрий лимоннокислый трехзамещенный	1
Калий фосфорнокислый двухзамещенный	0,5
Аскорбиновая кислота	0,1
Пептон соевый	10
Отвар на основе рисовой муки	до 1 дм ³

источников был лучше приблизительно на 10 и 25 % по сравнению с мальтозой и галактозой соответственно [16]. В [28] исследователи показали, что все изучаемые ими в работе штаммы *Latilactobacillus sakei* (5 шт.), как правило, достигали самой высокой скорости роста на среде с глюкозой в качестве источника углерода.

Готовую среду стерилизовали при температуре $(121 \pm 1) ^\circ\text{C}$, затем охлаждали до температуры $(37 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Для изучения роста штаммов на среде на основе рисовой муки в подготовленную среду вносили инокулят в количестве 5 % от объема. В качестве инокулята использовали культуру молочнокислых бактерий, содержащую изучаемые штаммы *Latilactobacillus sakei* стационарной фазы роста, культивирование которой проводили на полужидкой среде MRS. Характеристика инокулята приведена в табл. 2.

Таблица 2. Характеристика инокулята
Table 2. Characteristics of inoculum

Показатель	Характеристика
Активная кислотность, pH	$4,3 \pm 0,1$
Количество жизнеспособных клеток <i>Latilactobacillus sakei</i> , КОЕ/см ³	$9 \cdot 10^9$
Объем продукта (см ³), в котором не допускаются:	
– БГКП (колиформы);	10
– <i>S. aureus</i> ;	10
– патогенные микроорганизмы (в том числе сальмонеллы)	100
Дрожжи и плесени, КОЕ/см ³ , не более	5 в сумме

Первый этап эксперимента был посвящен изучению роста изучаемых штаммов на среде на основе рисовой муки при оптимальной температуре, равной $(37 \pm 1) ^\circ\text{C}$. С этой целью отслеживали количество жизнеспособных клеток и изменение активной кислотности питательной среды (рис. 1, 2).



Рис. 1. Изменение количества жизнеспособных клеток в процессе культивирования трех штаммов *Latilactobacillus sakei* на питательной среде на основе рисовой муки

Fig. 1. Viable cells count change during the cultivation of three strains of *Latilactobacillus sakei* on a nutrient medium based on rice flour

Представленные данные (см. рис. 1, 2) показывают, что наибольшее накопление клеток бактерий наблюдается после 24–32 ч культивирования, к 16–24 ч культивирования значение pH стабилизируется ($\approx 4,0$). Таким образом, установлено, что оптимальная продолжительность культивирования составляет 24–32 ч при температуре $(37 \pm 1) ^\circ\text{C}$.

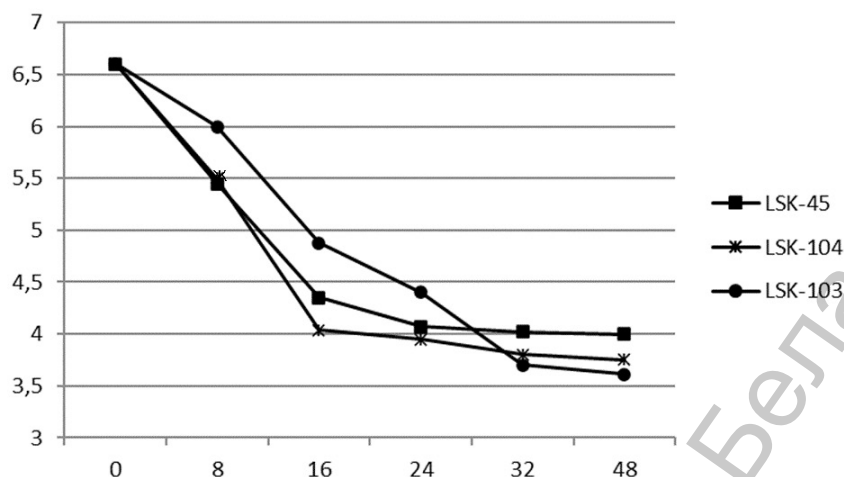


Рис. 2. Изменение pH в процессе культивирования трех штаммов *Lactobacillus sakei* на среде на основе рисовой муки

Fig. 2. pH change during cultivation of three strains of *Lactobacillus sakei* on a medium based on rice flour

На основе полученных данных была разработана технологическая схема производства жидкой бактериальной закваски на основе рисовой муки с использованием штаммов *Lactobacillus sakei*.

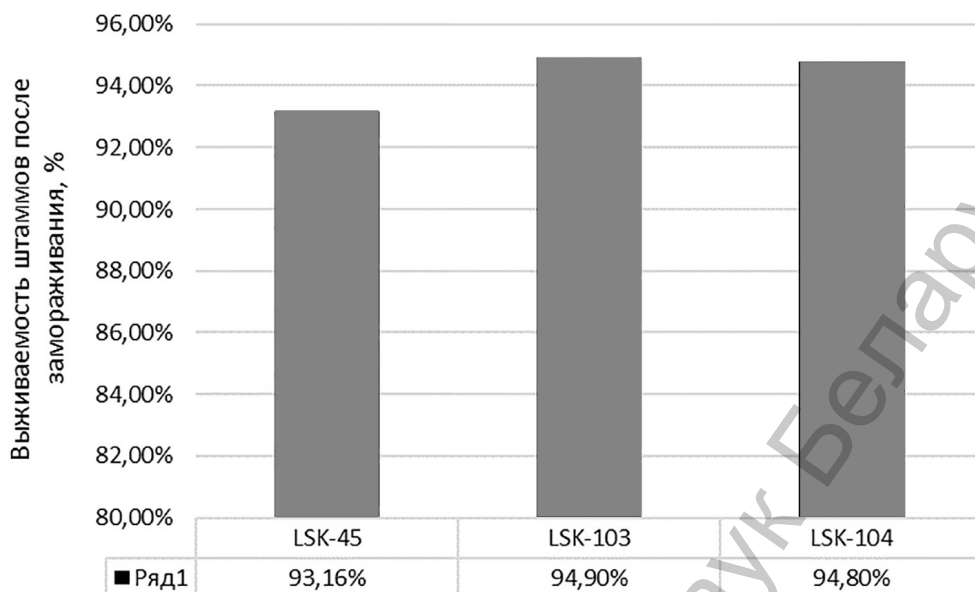
Технологический процесс получения жидкой бактериальной закваски состоял из следующих основных этапов: подготовка инокулята, приготовление питательной среды, внесение инокулята (5 % от объема питательной среды), наращивание биомассы микроорганизмов, отделение культуральной жидкости центрифугированием, упаковка, маркировка, хранение. Эти этапы были аналогичны процессам при производстве других заквасок для пищевой промышленности [22].

Так как сроки годности жидких бактериальных препаратов ограничены, разрабатываются технологии производства замороженных и сухих бактериальных концентратов, высокое количество жизнеспособных клеток пробиотических культур в которых сохраняется значительно дольше по сравнению с жидкими [29]. В связи с этим следующий этап эксперимента был посвящен изучению влияния замораживания на выживаемость штаммов *Lactobacillus sakei*. Низкие температуры влияют на жизнеспособность клеток молочнокислых бактерий. Одной из причин снижения выживаемости бактерий при замораживании является повреждение мембран клеток кристаллами внутриклеточного льда [30]. Для того чтобы снизить повреждение клеток при замораживании, применяют защитные среды различного состава. Защитная среда должна обладать такими свойствами, как отсутствие токсичности, простота использования, высокие криопротекторные свойства [29]. В данном эксперименте применяли защитную среду следующего состава: сахароза – 10 %; натрий лимоннокислый трехзамещенный – 2 %; дистиллированная вода – остальное. Для производства замороженной закваски *Lactobacillus sakei* питательную среду центрифугировали, полученную суспензию клеток смешивали с защитной средой, смесь замораживали при температуре -20°C в течение 24 ч. Перед и после замораживания проводили количественный учет жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий и рассчитывали их выживаемость (%) (рис. 3).

Установлено, что после замораживания количество клеток бактерий составляет: для штамма *Lactobacillus sakei* LSK-45 – $7 \cdot 10^8$ КОЕ/см³ (выживаемость клеток – 93,16 %), для штамма *Lactobacillus sakei* LSK-103 – $2 \cdot 10^9$ КОЕ/см³ (выживаемость клеток – 94,90 %), для штамма *Lactobacillus sakei* LSK-104 – $3 \cdot 10^9$ КОЕ/см³ (выживаемость клеток – 94,80 %).

Полученные результаты (см. рис. 3) показывают, что процесс замораживания незначительно влияет на выживаемость *Lactobacillus sakei* LSK-45, LSK-103, LSK-104.

На следующем этапе исследований проводили серию экспериментов для определения показателей качества готовых жидкой и замороженной бактериальных заквасок. Результаты представлены в табл. 3.

Рис. 3. Влияние замораживания на выживаемость штаммов бактерий *Lactobacillus sakei*Fig. 3. Effect of freezing on the survival of *Lactobacillus sakei* strainsТаблица 3. Качественная характеристика бактериальной закваски молочнокислых бактерий *Lactobacillus sakei* на основе рисовой мукиTable 3. Qualitative characteristics of bacterial starter culture of lactic acid bacteria *Lactobacillus sakei*

Наименование показателя	Значение показателя закваски	
	жидкая	замороженная
Консистенция и внешний вид	Густая суспензия бактериальных клеток	
Цвет	От белого до темно-кремового	
Вкус и запах	Чистый, слегка кисловатый, без посторонних привкусов	
Активная кислотность (pH), ед.	6,5 ± 0,5	
Температура при выпуске с предприятия, °С, не более	4 ± 2 °С	-18 °С
Количество бактерий, КОЕ в 1 см ³ , не менее	1 · 10 ⁸	
Микрокартина	Грамположительные палочки, расположенные одиночно, попарно или короткими цепочками	
Объем продукта (см ³), в котором не допускаются:		
– БГКП (колиформы);	10	
– стафилококки <i>S. aureus</i>	10	
– патогенные микроорганизмы (в т. ч. сальмонеллы)	100	
Дрожжи и плесени, КОЕ/см ³ , не более	5 в сумме	

В результате анализа полученных данных (см. табл. 3) установлено, что разработанные нами технологии получения жидкой и замороженной заквасок на основе рисовой муки позволяют получить продукты с высоким количеством жизнеспособных клеток пробиотических микроорганизмов (более 1 · 10⁸ КОЕ/см³). По показателям безопасности разработанные закваски соответствуют требованиям действующих нормативных документов (ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»).

Следующий этап исследований был посвящен изучению морфологии клеток полученной закваски (рис. 4).

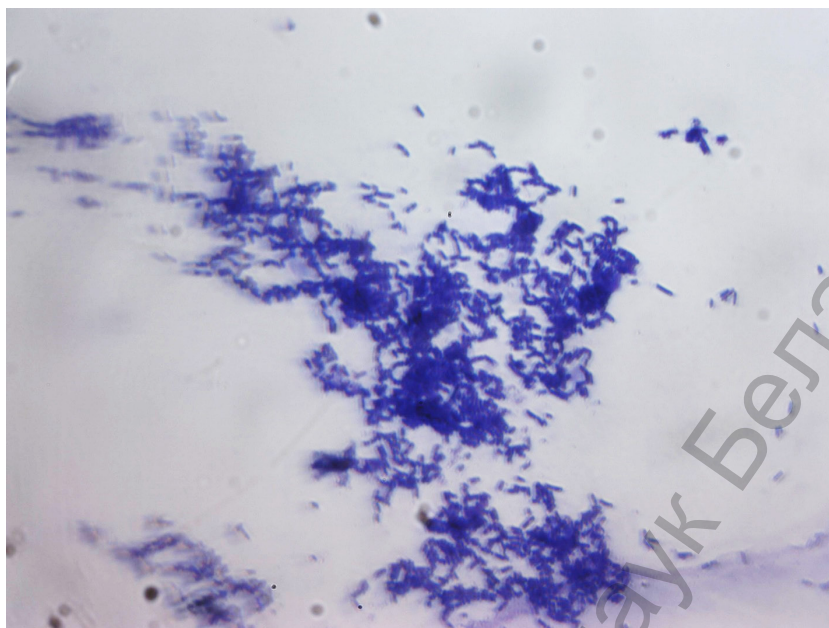


Рис. 4. Морфология клеток замороженной закваски на основе растительных компонентов (штамм *Latilactobacillus sakei* LSK-45)

Fig. 4. Cell Morphology of bacterial starter culture (strain *Latilactobacillus sakei* LSK-45)

На рис. 4 видны скопления клеток, которые указывают на межклеточные связи – когезию. Как отмечено в [31], микроорганизмы способны проявлять различные формы коллективного поведения, к которым можно отнести афiliation (когезию), кооперацию, координированную агрессию и избегание. Для бактериальных систем характерна контактная и дистантная коммуникация. При дистантной коммуникации используются сигнальные вещества, например аутоиндукторов. Бактерии способны к формированию надклеточных систем, которые можно рассматривать как бактериальные биосоциальные системы [31].

Когезия является механизмом, с помощью которого в неблагоприятных условиях окружающей среды достигается более высокая выживаемость клеток. Это обусловлено тем, что агрегированные клетки имеют преимущество перед одиночными при высокой плотности популяции, так как клетки, находящиеся в верхней части агрегата, получают больший доступ к питательным веществам. При низкой плотности клеток, наоборот, одиночные клетки обладают преимуществом перед агрегатами клеток [32]. Доказано, что агрегация повышает выживаемость клеток при росте в неблагоприятной среде [33].

Таким образом, когезия клеток молочнокислых бактерий *Latilactobacillus sakei*, по всей видимости, является реакцией на отрицательные факторы внешней среды и обеспечивает адаптацию к изменению условий и лучшую выживаемость клеток.

Выводы. В результате проведенных исследований разработаны новые технологии производства жидкой и замороженной бактериальных заквасок из растительных ингредиентов, содержащие штаммы *Latilactobacillus sakei*, которые могут использоваться при производстве пищевых продуктов. Представленные результаты показывают, что разработанные закваски обладают высокой биохимической активностью и по показателям безопасности соответствуют требованиям, предъявляемым к закваскам.

Список использованных источников

1. Benefaction of probiotics for human health: a review / R. G. Kerry, J. K. Patra, S. Gouda [et al.] // Journal of Food and Drug Analysis. – 2018. – Vol. 26, № 3. – P. 927–939. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002>
2. Bodke, H. Role of probiotics in human health / H. Bodke, S. Jogdand // Cureus. – 2022. – Vol. 14, № 11. – Art. e31313. <https://doi.org/10.7759/cureus.31313>

3. Probiotic *Escherichia coli* Nissle 1917-derived outer membrane vesicles modulate the intestinal microbiome and host gut-liver metabolome in obese and diabetic mice / J. Shi, D. Ma, S. Gao [et al.] // *Frontiers in Microbiology*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1219763. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1219763>
4. Probiotic properties of enterococcus isolated from artisanal dairy products / Y. Nami, R. Vaseghi Bakhshayesh, H. Mohammadzadeh Jalaly [et al.] // *Frontiers in Microbiology*. – 2019. – Vol. 10. – Art. 300. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00300>
5. Unique properties of yeast probiotic *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745: a narrative review / S. Gopalan, S. Ganapathy, M. Mitra [et al.] // *Cureus*. – 2023. – Vol. 15, № 10. – Art. e46314. <https://doi.org/10.7759/cureus.46314>
6. Staniszewski, A. Probiotic and potentially probiotic yeasts-characteristics and food application / A. Staniszewski, M. Kordowska-Wiater // *Foods*. – 2021. – Vol. 10, № 6. – Art. 1306. <https://doi.org/10.3390/foods10061306>
7. Lactic acid bacteria: food safety and human health applications / R. D. Ayivi, R. Gyawali, A. Krastanov [et al.] // *Dairy*. – 2020. – Vol. 1, № 3. – P. 202–232. <https://doi.org/10.3390/dairy1030015>
8. Potential applications of dairy whey for the production of lactic acid bacteria cultures / G. R. Rama, D. Kuhn, S. Beux [et al.] // *International Dairy Journal*. – 2019. – Vol. 98. – P. 25–37. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.06.012>
9. Probiotic and technological characterization of selected *Lactobacillus* strains isolated from different Egyptian cheeses / M. Zommará, S. El-Ghaish, T. Haertle [et al.] // *BMC Microbiology*. – 2023. – Vol. 23, № 1. – Art. 160. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02890-1>
10. Bacterial community analysis in three types of the fermented seafood, jeotgal, produced in South Korea / E. J. Song, E. S. Lee, S. L. Park [et al.] // *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. – 2018. – Vol. 82, № 8. – P. 1444–1454. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1469395>
11. Fermented and ripened fish products in the northern European countries / T. Skåra, L. Axelsson, G. Stefansson [et al.] // *Journal of Ethnic Foods*. – 2015. – Vol. 2, № 1. – P. 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.02.004>
12. Zagorec, M. *Lactobacillus sakei*: a starter for sausage fermentation, a protective culture for meat products / M. Zagorec, M.-C. Champomier-Vergès // *Microorganisms*. – 2017. – Vol. 5, № 3. – Art. 56. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030056>
13. Никифорова, А. П. Исследование устойчивости *Lactobacillus sakei* к осмотическому стрессу / А. П. Никифорова, С. Н. Хазагаева, И. С. Хамагаева // *Техника и технология пищевых производств*. – 2021. – Т. 51, № 3. – С. 574–583. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-574-583>
14. Growth medium for culturing probiotic bacteria for applications in vegetarian food products / C. N. Heenan, M. C. Adams, R. W. Hosken, G. H. Fleet // *LWT – Food Science and Technology*. – 2002. – Vol. 35, № 2. – P. 171–176. <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0833>
15. Pathak, M. Optimization of an effective growth medium for culturing probiotic bacteria for applications in strict vegetarian food products / M. Pathak, D. Martirosyan // *Functional Foods in Health and Disease*. – 2012. – Vol. 2, № 10. – P. 369–378. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v2i10.75>
16. Vegan grade medium component screening and concentration optimization for the fermentation of the probiotic strain *Lactobacillus paracasei* IMC 502® using Design of Experiments / D. Parecha, A. Alfano, D. Cimini, C. Schiraldi // *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. – 2024. – Vol. 51. – Art. kuae016. <https://doi.org/10.1093/jimb/kuae016>
17. Plant-based culture media: efficiently support culturing rhizobacteria and correctly mirror their in-situ diversity / H. H. Youssef, M. A. Hamza, M. Fayed [et al.] // *Journal of Advanced Research*. – 2016. – Vol. 7, № 2. – P. 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.07.005>
18. Low-cost effective culture medium optimization for d-lactic acid production by *Lactobacillus coryniformis* subsp. *torquens* under oxygen-deprived condition / L. Jaramillo, D. Santos, E. Borges [et al.] // *Annals of Microbiology*. – 2018. – Vol. 68, № 9. – P. 547–555. <https://doi.org/10.1007/s13213-018-1362-y>
19. Probiotics media: significance, challenges, and future perspective – a mini review / V. Kumar, B. Naik, A. Kumar [et al.] // *Food Production, Processing and Nutrition*. – 2022. – Vol. 4. – Art. 17. <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00098-w>
20. Мамыкин, Д. С. Оптимизация состава питательной среды для производства заквасочных культур *Lactobacillus plantarum* / Д. С. Мамыкин // *Пищевые системы*. – 2021. – Т. 4, № 3S. – P. 193–198. <https://doi.org/10.21323/26189771-2021-4-3S-193-198>
21. Batch and fed-batch production of probiotic biomass and nisin in nutrient-supplemented whey media / M. C. Malvido, E. A. González, D. L. Bazán Tantaleán [et al.] // *Brazilian Journal of Microbiology*. – 2019. – Vol. 50, № 4. – P. 915–925. <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00114-1>
22. Хамагаева, И. С. Биотехнология заквасок пропионовокислых бактерий / И. С. Хамагаева, Л. М. Качанина, С. М. Тумурова. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 171 с.
23. Features of *Lactobacillus sakei* isolated from Italian sausages: focus on strains from *Ventricina del Vastese* / C. Amadoro, F. Rossi, M. Piccirilli, G. Colavita // *Italian Journal of Food Safety*. – 2015. – Vol. 4, № 4. – Art. 5449. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2015.5449>
24. Lactose metabolism in *Lactobacillus curvatus* and *Lactobacillus sakei* / M. Obst, R. Hehn, R. F. Vogel, W. P. Hammes // *FEMS Microbiology Letters*. – 1992. – Vol. 97, № 3. – P. 209–214. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1992.tb05465.x>
25. Short communication: nutrient consumption patterns of *Lactobacillus acidophilus* KLDS 1.0738 in controlled pH batch fermentations / X. Lv, G. Liu, X. Sun [et al.] // *Journal of Dairy Science*. – 2017. – Vol. 100, № 7. – P. 5188–5194. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12607>

26. Хамагаева, И. С. Оптимизация питательной среды для получения гипоаллергенного биопрепарата / И. С. Хамагаева, С. Н. Хазагаева, И. П. Марадудина // Вестник ВСГУТУ. – 2017. – № 3 (66). – С. 93–96.
27. A potential of brown rice polish as a substrate for the lactic acid and bioactive compounds production by the lactic acid bacteria newly isolated from cereal-based fermented products / R. Jukonyte, D. Zadeike, E. Bartkiene [et al.] // LWT. – 2018. – Vol. 9. – P. 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.012>
28. Impact of different sugars and glycosyltransferases on the assertiveness of *Latilactobacillus sakei* in raw sausage fermentations / A. W. Widenmann, C. J. Schiffer, M. A. Ehrmann, R. F. Vogel // International Journal of Food Microbiology. – 2022. – Vol. 366. – Art. 109575. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109575>
29. Effects of freeze drying in complex lyoprotectants on the survival, and membrane fatty acid composition of *Lactobacillus plantarum* L1 and *Lactobacillus fermentum* L2 / Z. Cheng, X. Yan, J. Wu [et al.] // Cryobiology. – 2022. – Vol. 105. – P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2022.01.003>
30. Development of freeze-thaw tolerant *Lactobacillus rhamnosus* GG by adaptive laboratory evolution / Y. W. Kwon, J. H. Bae, S. A. Kim, N. S. Han // Frontiers in Microbiology. – 2018. – Vol. 9. – Art. 2781. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02781>
31. Олескин, А. В. Биосоциальность одноклеточных (на материале исследований прокариот) / А. В. Олескин // Журнал общей биологии. – 2009. – Т. 70, № 3. – 225–238.
32. Trunk, T. Bacterial autoaggregation / T. Trunk, H. S. Khalil, J. C. Leo // AIMS Microbiology. – 2018. – Vol. 4, № 1. – P. 140–164. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.1.140>
33. Evaluation of functional properties of some lactic acid bacteria strains for probiotic applications in apiculture / A. C. Urcan, A. D. Criste, O. Bobiş [et al.] // Microorganisms. – 2024. – Vol. 12, № 6. – Art. 1249. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12061249>

References

1. Kerry R. G., Patra J. K., Gouda S., Park Y., Shin H.-S., Das G. Benefaction of probiotics for human health: a review. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2018, vol. 26, no. 3, pp. 927–939. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002>
2. Bodke H., Jogdand S. Role of probiotics in human health. *Cureus*, 2022, vol. 14, no. 11, art. e31313. <https://doi.org/10.7759/cureus.31313>
3. Shi J., Ma D., Gao S., Long F., Wang X., Pu X., Cannon R. D., Han T. L. Probiotic *Escherichia coli* Nissle 1917-derived outer membrane vesicles modulate the intestinal microbiome and host gut-liver metabolome in obese and diabetic mice. *Frontiers in Microbiology*, 2023, vol. 14, art. 1219763. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1219763>
4. Nami Y., Vaseghi Bakhshayesh R., Mohammadzadeh Jalaly H., Lotfi H., Eslami S., Hejazi M. A. Probiotic properties of enterococcus isolated from artisanal dairy products. *Frontiers in Microbiology*, 2019, vol. 10, art. 300. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00300>
5. Gopalan S., Ganapathy S., Mitra M., Neha, Kumar Joshi D., Veligandla K. C., Rathod R., Kotak B. P. Unique properties of yeast probiotic *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745: a narrative review. *Cureus*, 2023, vol. 15, no. 10, art. e46314. <https://doi.org/10.7759/cureus.46314>
6. Staniszewski A., Kordowska-Wiater M. Probiotic and potentially probiotic yeasts-characteristics and food application. *Foods*, 2021, vol. 10, no. 6, art. 1306. <https://doi.org/10.3390/foods10061306>
7. Ayivi R. D., Gyawali R., Krastanov A., Aljaloud S. O., Worku M., Tahergorabi R., Da Silva R. C., Ibrahim S. A. Lactic acid bacteria: food safety and human health applications. *Dairy*, 2020, vol. 1, no. 3, pp. 202–232. <https://doi.org/10.3390/dairy1030015>
8. Rama G. R., Kuhn D., Beux S., Jachetti Maciel M., Volken de Souza C. F. Potential applications of dairy whey for the production of lactic acid bacteria cultures. *International Dairy Journal*, 2019, vol. 98, pp. 25–37. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.06.012>
9. Zommara M., El-Ghaish S., Haertle T., Chobert J.-M., Ghanimah M. Probiotic and technological characterization of selected *Lactobacillus* strains isolated from different Egyptian cheeses. *BMC Microbiology*, 2023, vol. 23, art. 160. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02890-1>
10. Song E. J., Lee E. S., Park S. L., Choi H. J., Roh S. W., Nam Y. D. Bacterial community analysis in three types of the fermented seafood, jeotgal, produced in South Korea. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 2018, vol. 82, no. 8, pp. 1444–1454. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1469395>
11. Skåra T., Axelsson L., Stefansson G., Ekstrand B., Hagen H. Fermented and ripened fish products in the northern European countries. *Journal of Ethnic Foods*, 2015, vol. 2, no. 1, pp. 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.02.004>
12. Zagorec M., Champomier-Vergès M.-C. *Lactobacillus sakei*: a starter for sausage fermentation, a protective culture for meat products. *Microorganisms*, 2017, vol. 5, no. 3, art. 56. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030056>
13. Nikiforova A. P., Khazagaeva S. N., Khamagaeva I. S. Tolerance of *Lactobacillus sakei* to osmotic stress. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv = Food Processing: Techniques and Technology*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 574–583 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-574-583>

14. Heenan C. N., Adams M. C., Hosken R. W., Fleet G. H. Growth medium for culturing probiotic bacteria for applications in vegetarian food products. *LWT – Food Science and Technology*, 2002, vol. 35, no. 2, pp. 171–176. <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0833>
15. Pathak M., Martirosyan D. Optimization of an effective growth medium for culturing probiotic bacteria for applications in strict vegetarian food products. *Functional Foods in Health and Disease*, 2012, vol. 2, no. 10, pp. 369–378. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v2i10.75>
16. Parecha D., Alfano A., Cimini D., Schiraldi C. Vegan grade medium component screening and concentration optimization for the fermentation of the probiotic strain *Lactobacillus paracasei* IMC 502® using Design of Experiments. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2024, vol. 51, art. kuac016. <https://doi.org/10.1093/jimb/kuac016>
17. Youssef H. H., Hamza M. A., Fayez M., Mourad E. F., Saleh M. Y., Sarhan M. S., Suker R. M., Eltahlawy A. A., Nemr R. A., El-Tahan M., Ruppel S., Hegazi N. A. Plant-based culture media: efficiently support culturing rhizobacteria and correctly mirror their in-situ diversity. *Journal of Advanced Research*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.07.005>
18. Jaramillo L., Santos D., Borges E., Dias D., Pereira N. Low-cost effective culture medium optimization for d-lactic acid production by *Lactobacillus coryniformis* subsp. *torquens* under oxygen-deprived condition. *Annals of Microbiology*, 2018, vol. 68, no. 9, pp. 547–555. <https://doi.org/10.1007/s13213-018-1362-y>
19. Kumar V., Naik B., Kumar A., Khanduri N., Rustagi S., Kumar S. Probiotics media: significance, challenges, and future perspective – a mini review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2022, vol. 4, art. 17. <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00098-w>
20. Mamykin D. S. Optimization of the composition of the nutrient medium for production of starter cultures *Lactobacillus plantarum*. *Pishchevye sistemy = Food Systems*, 2021, vol. 4, no. 3S, pp. 193–198 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/26189771-2021-4-3S-193-198>
21. Malvido M. C., González E. A., Bazán Tantaleán D. L., Bendaña Jácome R. J., Pérez Guerra N. Batch and fed-batch production of probiotic biomass and nisin in nutrient-supplemented whey media. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2019, vol. 50, no. 4, pp. 915–925. <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00114-1>
22. Khamagaeva I. S., Kachanina L. M., Tumurova S. M. *Biotechnology of propionic acid bacteria starter cultures*. Ulan-Ude, East Siberian State Technological University, 2006. 171 p. (in Russian).
23. Amadoro C., Rossi F., Piccirilli M., Colavita G. Features of *Lactobacillus sakei* isolated from Italian sausages: focus on strains from *Ventricina del Vastese*. *Italian Journal of Food Safety*, 2015, vol. 4, no. 4, art. 5449. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2015.5449>
24. Obst M., Hehn R., Vogel R. F., Hammes W. P. Lactose metabolism in *Lactobacillus curvatus* and *Lactobacillus sakei*. *FEMS Microbiology Letters*, 1992, vol. 97, no. 3, pp. 209–214. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1992.tb05465.x>
25. Lv X., Liu G., Sun X., Chen H., Sun J., Feng Z. Short communication: Nutrient consumption patterns of *Lactobacillus acidophilus* KLDS 1.0738 in controlled pH batch fermentations. *Journal of Dairy Science*, 2017, vol. 100, no. 7, pp. 5188–5194. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12607>
26. Khamagaeva I. S., Khazagaeva S. N., Maradudina I. P. Optimization of nutrient medium for obtaining hypoallergic bio-product. *Vestnik VSGUTU = ESSUTM Bulletin*, 2017, no. 3 (66), pp. 93–96 (in Russian).
27. Jukonyte R., Zadeike D., Bartkiene E., Lele V., Cernauskas D., Suproniene S., Juodeikiene G. A potential of brown rice polish as a substrate for the lactic acid and bioactive compounds production by the lactic acid bacteria newly isolated from cereal-based fermented products. *LWT*, 2018, vol. 9, pp. 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.012>
28. Widenmann A. W., Schiffer C. J., Ehrmann M. A., Vogel R. F. Impact of different sugars and glycosyltransferases on the assertiveness of *Latilactobacillus sakei* in raw sausage fermentations. *International Journal of Food Microbiology*, 2022, vol. 366, art. 109575. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109575>
29. Cheng Z., Yan X., Wu J., Weng P., Wu Z. Effects of freeze drying in complex lyoprotectants on the survival, and membrane fatty acid composition of *Lactobacillus plantarum* L1 and *Lactobacillus fermentum* L2. *Cryobiology*, 2022, vol. 105, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2022.01.003>
30. Kwon Y. W., Bae J. H., Kim S. A., Han N. S. Development of freeze-thaw tolerant *Lactobacillus rhamnosus* GG by adaptive laboratory evolution. *Frontiers in Microbiology*, 2018, vol. 9, art. 2781. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02781>
31. Oleskin A. V. Biosocial phenomena in unicellular organisms (exemplified by data concerning Prokaryota). *Zhurnal obshchei biologii = Journal of General Biology*, 2009, vol. 70, no. 3, pp. 225–238 (in Russian).
32. Trunk T., Khalil H.S., Leo J. C. Bacterial autoaggregation. *AIMS Microbiology*, 2018, vol. 4, no. 1, pp. 140–164. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.1.140>
33. Urcan A. C., Criste A. D., Bobiş O., Cornea-Cipcigan M., Giurgiu A.-I., Dezmirean D. S. Evaluation of functional properties of some lactic acid bacteria strains for probiotic applications in apiculture. *Microorganisms*, 2024, vol. 12, no. 6, art. 1249. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12061249>

Информация об авторах

Никифорова Анна Платоновна – кандидат технических наук, доцент факультета биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО (Университет ИТМО) (пр. Кронверкский, 49, литер А, 197101, Санкт-Петербург). <https://orcid.org/0000-0002-3003-8638>. E-mail: anna.p.nikiforova@gmail.com

Позняковский Валерий Михайлович – доктор биологических наук, профессор, Кемеровский государственный медицинский университет (ул. Ворошилова, 22а, 650056, Кемерово, Российская Федерация). <https://orcid.org/0000-0002-5749-1459>. E-mail: pvm1947@bk.ru

Information about the authors

Anna P. Nikiforova – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Biotechnologies, ITMO University (49, bldg. A, Kronverksky Ave., 197101, St. Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-3003-8638>. E-mail: anna.p.nikiforova@gmail.com

Valery M. Poznyakovsky – Dr. Sc. (Biology), Professor, Kemerovo State Medical University (22a, Voroshilova St., 650056, Kemerovo, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-5749-1459>. E-mail: pvm1947@bk.ru

Национальная академия наук Беларуси