

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-3-1244

EDN: ECLXVD

УДК 579.67



Научная статья

ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР И ОСМОТИЧЕСКОГО СТРЕССА НА РОСТ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ

А.П. Никифорова, И.С. Хамагаева

Аннотация

Обоснование. На сегодняшний день использование молочнокислых бактерий не нашло широкого промышленного применения при производстве рыбных продуктов. В то же время, научное направление, связанное с разработкой и применением бактериальных культур при переработке продукции гидробионтов, обладает высокой актуальностью. Производственные процессы, связанные с переработкой рыбы, зачастую предусматривают применение высоких концентраций поваренной соли и низких положительных температур, которые ингибируют рост и развитие большинства микроорганизмов. Поэтому при создании бактериальных культур, предназначенных для производства рыбных продуктов, важным этапом исследований является изучение устойчивости применяемых штаммов к воздействию неблагоприятных факторов. Бактерии вида *Latilactobacillus sakei* имеют большие перспективы использования в качестве бактериальных культур при производстве рыбных продуктов в связи с высокой биохимической активностью и потенциальными пробиотическими свойствами.

Целью исследования являлось изучение устойчивости молочнокислых бактерий вида *Latilactobacillus sakei* к высоким концентрациям хлорида натрия и низким температурам.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись четыре штамма бактерий вида *Latilactobacillus sakei*. Культивирование молочнокислых бактерий проводили на полужидкой среде MRS при температуре 37 °С. Способность бактерий расти в присутствии хлорида натрия определяли на полужидкой среде MRS с содержанием 12 % поваренной соли, а толерантность бактерий к низким положительным температурам изучали при культивировании штаммов при температуре 8 °С.

Результаты. В результате проведенных исследований доказано, что штаммы *Llb. sakei* LSK-45, *Llb. sakei* LSK-104, *Llb. sakei* LSK-103 способны расти при высоком содержании в питательной среде поваренной соли (12 %) и при низких положительных температурах.

Заключение. Установлено, что применение штаммов *Llb. sakei* LSK-45, LSK-104, LSK-103 в составе бактериальных культур для рыбоперерабатывающей промышленности представляет большой научный интерес.

Ключевые слова: рыбные продукты; молочнокислые бактерии; *Latilactobacillus sakei*; хлорид натрия; осмотический стресс; солевой стресс; низкие температуры

Для цитирования. Никифорова, А.П. & Хамагаева, И.С. (2025). Влияние низких температур и осмотического стресса на рост молочнокислых бактерий. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 169-187. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1244>

Original article

EFFECT OF LOW TEMPERATURES AND OSMOTIC STRESS ON THE GROWTH OF LACTIC ACID BACTERIA

A.P. Nikiforova, I.S. Khamagaeva

Abstract

Background. To date, the use of lactic acid bacteria has not found wide industrial application in the production of fish products. At the same time, the scientific direction associated with the development and use of bacterial cultures for the processing of fish products is highly relevant. Technological processes of fish processing often involve the use of high concentrations of NaCl and low positive temperatures; these factors inhibit the growth and development of most microorganisms. Therefore, the development of bacterial cultures to produce fish products should include the study

of tolerance of probiotic strains to these stress factors. *Latilactobacillus sakei* species have great prospects for the use as bacterial cultures for fish products processing due to high biochemical activity and potential probiotic properties.

Purpose. The aim of the study was to study the resistance of *Latilactobacillus sakei* strains to high sodium chloride concentrations and low temperatures. The objects of the study were four strains of *Latilactobacillus sakei*.

Materials and methods. Cultivation of lactic acid bacteria was carried out on MRS medium at a temperature of 37 °C. The ability of bacteria to grow in the presence of sodium chloride was determined on MRS medium containing 12% NaCl, and the tolerance of bacteria to low positive temperatures was studied by strains cultivation at 8 °C.

Results. As a result of the studies, it was proven that the strains *Llb. sakei* LSK-45, *Llb. sakei* LSK-104, *Llb. sakei* LSK-103 can grow in the medium with a high concentration of NaCl (12%) and at low positive temperatures.

Conclusion. Thus, the use of *Llb. sakei* LSK-45, *Llb. sakei* LSK-104, *Llb. sakei* LSK-103 strains in the fish processing industry is of great scientific interest.

Keywords: fish products; lactic acid bacteria; *Latilactobacillus sakei*; sodium chloride; osmotic stress; salt stress; low temperatures

For citation. Nikiforova, A.P. & Khamagaeva, I.S. (2025). The effect of low temperatures and osmotic stress on the growth of lactic acid bacteria. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 169-187. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1244>

Введение

По данным Росрыболовства общероссийский вылов рыбы и морепродуктов характеризуется стабильным ростом. В соответствии с рекомендациями Минздрава России рекомендуется употреблять 28 кг рыбы и рыбопродуктов на человека в год, но по данным Росстата в 2022 г. ежегодное потребление рыбы и рыбных продуктов составило только 21,9 кг.

Исследования, проведенные зарубежными учеными, показали, что регулярное употребление рыбы имеет ряд положительных эффектов на здоровье человека: оно обеспечивает защиту внутренних органов, в том числе сердца и печени, обладает антиоксидантным, противовоспалительным, ранозаживляющим эффектом [5; 6; 8]. В связи с этим, большой интерес представляет поиск технологических решений, связанных с разработкой новых наименований рыбных продуктов. Для повышения качества и безопасности и расширения ассортимента имеющейся на рынке продукции большие перспективы имеет применение бактериальных культур при переработке рыбы [2; 22].

Для консервирования рыбы с целью получения продуктов высокого качества применяются различные способы производства. Посол рыбы является одним из самых распространенных способов [18]. При изготовлении соленой рыбы используются технологические режимы, связанные с низкими положительными температурами и высокими концентрациями поваренной соли [18]. Эти параметры оказывают ингибирующее действие на большинство микроорганизмов. Таким образом, оценка толерантности бактерий к осмотическому стрессу и низким температурам является важным этапом при поиске штаммов, пригодных для применения при переработке рыбного сырья.

Молочнокислые бактерии играют важную роль при производстве различных пищевых продуктов. Например, они широко применяются в составе заквасок для производства кисломолочных продуктов, а также сырокопченых колбас. К сожалению, в настоящее время методы, связанные с использованием бактериальных культур, не нашли широкого применения в рыбоперерабатывающей промышленности, однако известно, что они обладают свойствами, которые способны положительно влиять на качество рыбных продуктов. Их применение способствует улучшению органолептических характеристик, повышению безопасности рыбных продуктов, сокращению продолжительности технологического процесса [3; 22].

Бактерии вида *Latilactobacillus sakei* обладают высоким потенциалом применения при производстве рыбных продуктов [2]. Это обусловлено тем, что этот вид считается хорошо адаптированным для роста в мясе и рыбе, благодаря ряду характеристик, таких как способность использовать различные источники углерода. Например, они способны ферментировать рибозу, которая присутствует в сыром мясе, через АТФ-зависимую систему [4; 26].

Микроорганизмы вида *Latilactobacillus sakei* содержатся в составе микрофлоры и играют важную роль в формировании показателей качества и безопасности традиционных ферментированных рыбных продуктов, таких как раффиск, jeotgal, и т.д. [20; 21].

Отдельно стоит отметить высокий пробиотический потенциал бактерий этого вида. Так, в работе Zou X. и др. доказано, что *Latilactobacillus sakei* L-7 имеет высокую выживаемость (89 %) после 7 ч в условиях, имитирующих процесс пищеварения человека. Прием данного штамма повышал количество микроорганизмов родов *Akkermansia*, *Allobaculum* и *Parabacteroides* и разнообразие микрофлоры в кишечнике мышей [27].

В работе Kim H.-S. др. установлено, что штамм *Latilactobacillus sakei* NEM 224 способен облегчать воспаления, как в желудочно-кишечном, так

и в дыхательном тракте посредством укрепления эпителиального барьера и иммуномодуляции [13].

Исследования Tajdozian H. и др. в экспериментах *in vitro* и *in vivo* показали, что штамм *Latilactobacillus sakei* PMC104 оказывает ингибирующее действие против бактерий вида *Klebsiella pneumoniae*, устойчивых к карбапенемам, способных вызывать различные инфекции [23].

В связи с этим, изучение влияния стрессовых факторов, таких как высокие концентрации поваренной соли и низкие положительные температуры на выживаемость и рост штаммов *Latilactobacillus sakei* является актуальной задачей пищевой промышленности.

Целью исследования является изучение толерантности молочнокислых бактерий вида *Latilactobacillus sakei* к высоким концентрациям хлорида натрия и низким положительным температурам.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись штаммы молочнокислых бактерий вида *Latilactobacillus sakei*: а) штамм LSK-45; б) штамм DSM 20017, в) штамм LSK-104, г) штамм LSK-103. Исследованные бактериальные штаммы были получены из фонда Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт».

Для изучения толерантности бактерий к высоким концентрациям хлорида натрия в стерильную полужидкую среду MRS с содержанием 12 % NaCl вносили инокулят, содержащий различные штаммы *Latilactobacillus sakei*, и культивировали при температуре 37 °C.

Для исследования роста микроорганизмов при низких положительных температурах бактерии культивировали на полужидкой среде MRS при температуре 8 °C.

О росте штаммов судили по уровню накопления биомассы (изменению оптической плотности) и количеству жизнеспособных клеток бактерий через определенное время культивирования. Измерение оптической плотности среды проводили при длине волны 590 нм на спектрофотометре PD-303 (APEL, Япония).

Количественный учет клеток молочнокислых бактерий проводили методом предельных разведений на агаризованной среде MRS (ООО «НПЦ «Биокомпас-С»).

При культивировании также измеряли активную кислотность (pH) питательной среды с применением pH-метра Анион 4100 (ООО НПЦ «Инфраспек-Аналит», Россия).

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

Статистическую обработку результатов исследований проводили с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2019 (Microsoft, США). Исследования проводили в двух повторностях. Проводили расчет среднего значения и ошибки средней величины. Нулевая гипотеза отклонялась при уровне значимости $P < 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Известно, что поваренная соль используется для стимулирования процесса ферментации пищевых продуктов в связи с тем, что молочнокислые бактерии зачастую обладают более высокой устойчивостью к осмотическому стрессу по сравнению с многими патогенными видами бактерий. Но, несмотря на это, осмотический стресс считается одним из основных барьеров для развития молочнокислых бактерий при производстве продуктов питания [1; 25]. В связи с этим, первый этап исследований был посвящен изучению толерантности штаммов вида *Latilactobacillus sakei* к высоким концентрациям поваренной соли. С этой целью изучали морфологию клеток изучаемых штаммов при росте в питательной среде с содержанием хлорида натрия 12% и без добавления NaCl (контроль), производили подсчет клеток молочнокислых бактерий на этих средах, вычисляли выживаемость бактерий.

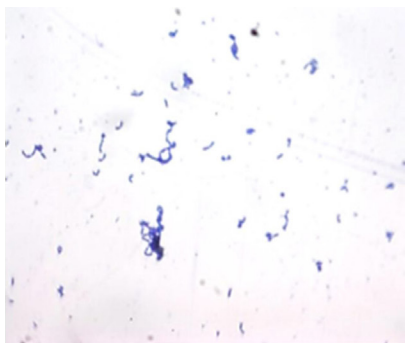
Изменение морфологии клеток бактерий вида *Latilactobacillus sakei* на питательной среде с содержанием хлорида натрия 12 % и без его добавления (0 %), представлено на рисунке 1.

Данные о количестве жизнеспособных клеток и выживаемости штаммов молочнокислых бактерий вида *Llb. sakei* представлены в таблице 1.

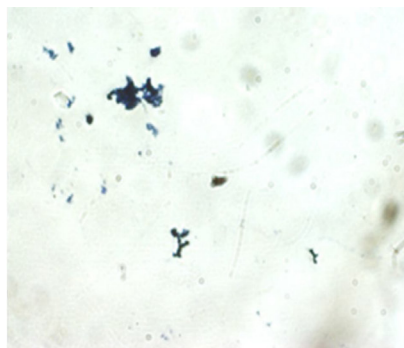
Таблица 1.

Количество клеток и выживаемость штаммов *Latilactobacillus sakei* в среде с различным содержанием хлорида натрия

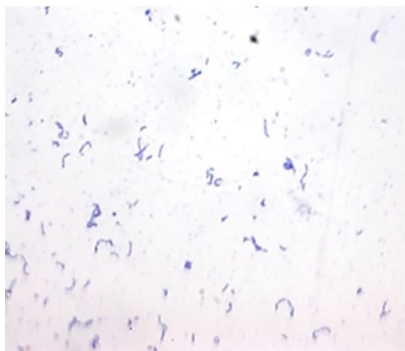
Наименование штамма <i>Llb. sakei</i>	Количество клеток молочнокислых бактерий (КОЕ/см ³) в питательной среде без NaCl и с содержанием 12%		Выживаемость штаммов <i>Llb. sakei</i> (%) в среде с содержанием NaCl 12 %
	0 %	12 %	
LSK-45	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^8$	89,25
DSM 20017	$5 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^5$	56,70
LSK-104	$5 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^8$	74,77
LSK-103	$2 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^8$	86,02



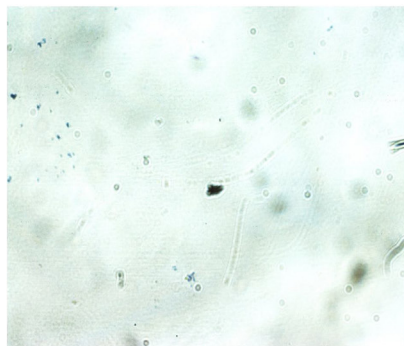
Llb. sakei LSK-45, 0 %



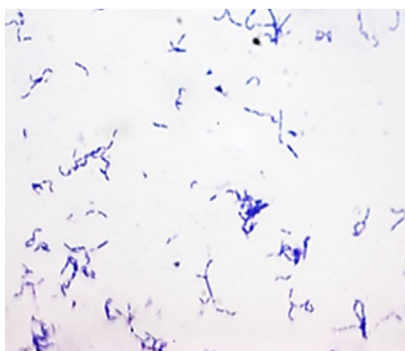
Llb. sakei LSK-45, 12 %



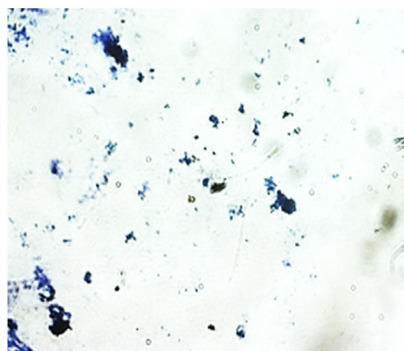
Llb. sakei DSM 20017, 0 %



Llb. sakei DSM 20017, 12 %



Llb. sakei LSK-104, 0 %



Llb. sakei LSK-104, 12 %

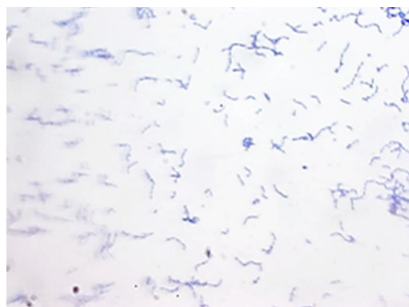
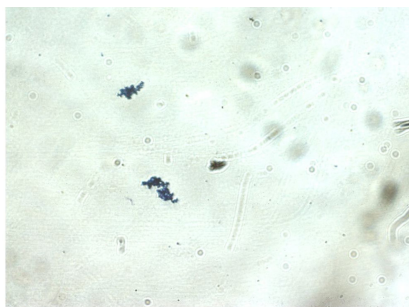
*Llb. sakei* LSK-103, 0 %*Llb. sakei* LSK-103, 12 %

Рис. 1. Морфология бактерий вида *Latilactobacillus sakei* на среде MRS с различной концентрацией NaCl

Полученные результаты (Табл. 1) показывают, что изучаемые штаммы *Llb. sakei* LSK-45, *Llb. sakei* LSK-104, *Llb. sakei* LSK-103 способны выживать в питательной среде, содержащей 12 % NaCl (выживаемость клеток составляет 74,77-89,25%), тогда как штамм DSM 20017 – недостаточно устойчив к высоким концентрациям поваренной соли (выживаемость клеток составила 56,7%). Возможно, это связано с тем, что штаммы LSK-45, LSK-104, LSK-103 были выделены из мясных ферментированных колбас, которые содержат поваренную соль, а штамм DSM 20017 – из саке, японского алкогольного напитка. Таким образом, устойчивость *Llb. sakei* к хлориду натрия зависит от штамма. Полученные результаты подтверждают результаты других ученых: так, в работе Montanari и др. показана высокая вариабельность показателей, характеризующих рост бактерий, на питательной среде с содержанием NaCl 8 % [17].

Микрофотографии, представленные на рисунке 1, показывают, что высокое содержание хлорида натрия в среде приводит к усилению межклеточных взаимодействий у штаммов *Llb. sakei* LSK-45, *Llb. sakei* LSK-104, *Llb. sakei* LSK-103.

Известно, что адаптация молочнокислых бактерий к стрессовым воздействиям происходит, благодаря различным механизмам [9; 10; 16].

Одним из механизмов, позволяющим обеспечить защиту молочнокислых микроорганизмов от избыточного осмотического давления, является поглощение растворенных веществ из питательной среды. К веществам-осмопротекторам относят такие как глицин-бетаин, холин, карнитин, сульфобетаин. Еще одним из механизмов, позволяющих молочнокислым бактериям выживать в неблагоприятных условиях среды, – это

регулирование внутриклеточных концентраций определенных аминокислот. Например, известно, что внутриклеточные концентрации пролина, глутаминовой кислоты, аланина и аспарагиновой кислоты увеличиваются в условиях высокого осмотического давления [11].

Микроорганизмы способны проявлять различные формы коллективного поведения [3]. Когезия (агрегация клеток, в зарубежной литературе - autoaggregation) – это один из них [24]. Для бактериальных систем характерна контактная и дистантная коммуникация. Дистантная регулируется сигнальными веществами или физическими факторами [3]. Процесс когезии часто происходит за счет системы «quorum sensing», представляющей собой тип регуляции экспрессии генов бактерий, функционирующий при высокой плотности популяции, реализующейся за счет малых сигнальных молекул (аутоиндукторов) [3; 16; 24]. Концентрация аутоиндукторов в среде увеличивается с ростом плотности популяции микроорганизмов. Коммуникация микроорганизмов через аутоиндукторы может происходить, как в рамках одного вида, так и между бактериями разных видов [16].

Доказано, что quorum sensing играет важную роль в процессах жизнедеятельности молочнокислых бактерий, таких как адгезия и образование биопленок, синтез бактериоцинов, а также способность противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды, например кислотному стрессу [10; 12; 19].

Предположительно, в условиях осмотического стресса высокая плотность популяции штаммов *Llb. sakei* LSK-45, *Llb. sakei* LSK-104, *Llb. sakei* LSK-103 (10^8 - 10^9 КОЕ/см³) приводит к активизации системы quorum sensing, что обеспечивает когезию клеток. По всей видимости, когезия обеспечивает более высокую выживаемость клеток в неблагоприятных условиях, так как известно, что при высокой плотности популяции агрегированные клетки имеют конкурентное преимущество перед одиночными – лучший доступ к питательным веществам. Однако при низкой плотности клеток агрегированные клетки находятся в невыгодном положении, поскольку клетки в центре агрегата имеют ограниченный доступ к питательным веществам [24].

Важным фактором, который необходимо учитывать при разработке бактериальных заквасок, предназначенных для производства рыбных продуктов, является устойчивость применяемых микроорганизмов к низким положительным температурам. Это обусловлено тем, что производство рыбных продуктов, в основном, происходит с применением низких температур. В связи с этим, следующий этап эксперимента был посвящен

исследованию роста изучаемых штаммов температуре 8 °С. Полученные данные представлены на рисунках 2 и 3.

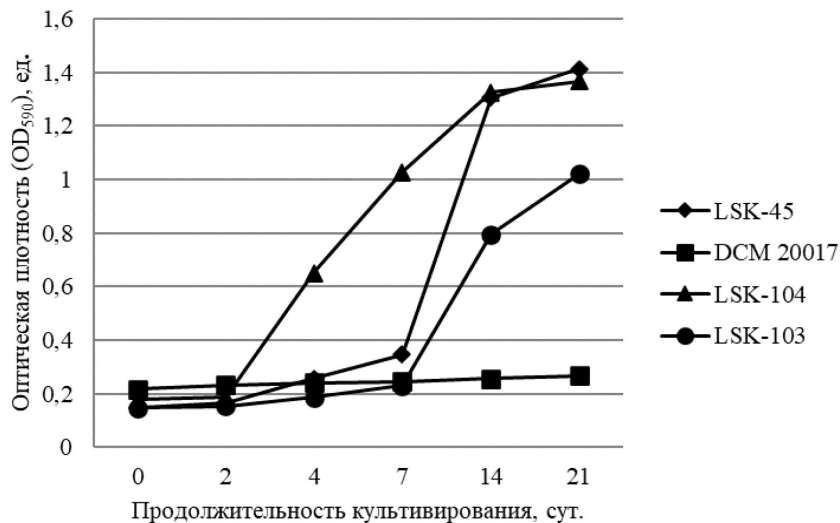


Рис. 2. Изменение оптической плотности питательной среды при культивировании молочнокислых бактерий при температуре 8 °С

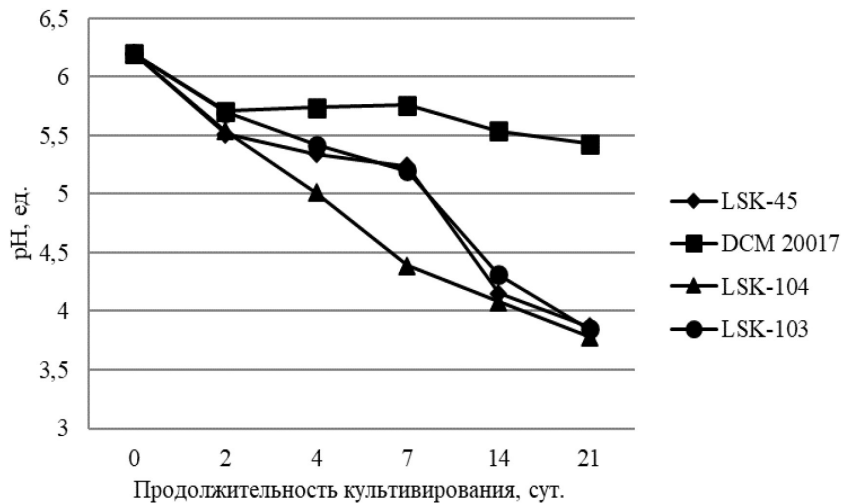


Рис. 3. Изменение значения активной кислотности питательной среды при культивировании молочнокислых бактерий при температуре 8 °С

Результаты, представленные на рисунках 2 и 3, показывают, что изученные штаммы *Latilactobacillus sakei* LSK-104, LSK-45, LSK-103 способны расти при низких положительных температурах, тогда как штамм DSM 20017 характеризуется незначительным ростом. Наиболее активный рост наблюдался у штаммов LSK-104 и LSK-45.

В ранее проведенных исследованиях доказана способность отдельных штаммов вида *Latilactobacillus sakei* развиваться при низких температурах. Так, в работе Marceau и др. показан медленный рост штамма *Llb. sakei* 23K при температуре 4 °C. Кроме того, установлено, что этот штамм способен выживать при этой температуре в течение 2,2 недель [15]. Кроме того, в работе Marceau и др. показано, что совместное действие низких температур и хлорида натрия (9 %) существенно повышают выживаемость бактерий до 28 недель [15].

Исследования Montanari и др. показали, что способность бактерий вида *Latilactobacillus sakei* расти при низких положительных температурах сильно зависит от штамма: вариация значений оптической плотности питательной среды разных штаммов при температуре 5 °C составила 61,4%.

Ammog и др. установлено, что из 36 изученных в работе штаммов *Latilactobacillus sakei* почти все (35) были способны расти при температуре 4 °C, и ни один – при температуре 0 °C [4].

Полученные нами результаты подтверждают имеющиеся сведения о том, что некоторые штаммы бактерий вида *Latilactobacillus sakei* способны расти при низких положительных температурах.

По мнению Chaillou и др. одним из ключевых факторов в адаптации штамма *Llb. sakei* 23K к низким температурам и соли может быть его способность эффективно накапливать осмо- и криозащитные вещества, такие как бетаин и карнитин. Также установлено, что *Llb. sakei* 23K имеет больше предполагаемых белков холодового стресса (LSA0768, LSA0946, LSA1152, LSA1561), по сравнению с другими лактобациллами, но столько же, сколько *L. monocytogenes*, для которых также характерна высокая толерантность к воздействию низких температур [7]. Liu и др. показано, что двухкомпонентная система, quorum sensing и ABC-транспортеры также принимают участие в процессе адаптации клеток *Lactiplantibacillus plantarum* к низким температурам [14].

Данные проведенных нами исследований показали высокую толерантность к осмотическому стрессу и способность расти при низких положительных температурах штаммов *Latilactobacillus sakei* LSK-104, LSK-45,

LSK-103. Таким образом, указанные штаммы являются перспективными для применения в составе бактериальных концентратов для производства рыбных продуктов.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено следующее:

1. Показано, что штаммы молочнокислых бактерий *Latilactobacillus sakei* LSK-104, LSK-45, LSK-103, выделенные из ферментированных колбас, обладают высокой устойчивостью к осмотическому стрессу и низким температурам. Вероятно, указанные свойства обеспечиваются за счет когезии, механизма, повышающего выживаемость и толерантность к неблагоприятным факторам среды. Таким образом, указанные штаммы имеют широкие перспективы применения, в том числе в составе бактериальных культур для рыбоперерабатывающей промышленности.

2. Установлено, что штамм *Latilactobacillus sakei* DSM 20017, впервые выделенный из японского напитка саке, не обладает высокой толерантностью к высокому содержанию хлорида натрия в питательной среде, а также к низким положительным температурам.

Заключение комитета по этике. Не применимо.

Информированное согласие. Не применимо.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Никифорова, А.П., Хазагаева, С.Н. & Артюхова, С.И. (2019). Исследование биохимической активности штамма *Lactobacillus sakei* LSK-104. *Вестник ВСГУТУ*, 4(75), 62-68. EDN: <https://elibrary.ru/arivmh>
2. Никифорова, А.П. (2020). Перспективы производства ферментированных рыбных продуктов с использованием молочнокислых бактерий. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, 2, 17-24. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10038> EDN: <https://elibrary.ru/zejayp>
3. Олескин, А.В. (2009). Биосоциальность одноклеточных (на материале исследований прокариот). *Журнал общей биологии*, 70(3), 225-238. EDN: <https://elibrary.ru/kavohr>

4. Ammor, S., Dufour, E., Zagorec, M., Chaillou, S. & Chevallier, I. (2005). Characterization and selection of *Lactobacillus sakei* strains isolated from traditional dry-sausage. *Food Microbiology*, 22, 529-538. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2004.11.016>
5. Bonaccio, M., Ruggiero, E., Castelnovo, A.D., Costanzo, S., Persichillo, M., Curtis, A.D. & Iacoviello, L. (2017). Fish intake is associated with lower cardiovascular risk in a Mediterranean population: Prospective results from the Molisani study. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 27, 865-873. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2017.08.004>
6. Chai, H.J., Wu, C.J., Yang, S.H., Li, T.L. & Pan, B.S. (2016). Peptides from hydrolysate of lantern fish (*Benthosema pterotum*) proved neuroprotective in vitro and in vivo. *Journal of Functional Foods*, 24, 438-449. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.04.009>
7. Chaillou, S., Champomier-Vergès, M.C., Cornet, M., Crutz Le Coq, A.M., Dudzé, A.M., Martin, V., Beaufls, S., Bossy, R., Darbon-Rongère, E., Loux, V. et al. (2005). Complete genome sequence of the meat-borne lactic acid bacterium *Lactobacillus sakei* 23K. *Nature Biotechnology*, 23, 1527-1533. <https://doi.org/10.1038/nbt1160>
8. Chen, J., Jayachandran, M., Bai, W. & Xu, B. (2022). A critical review on the health benefits of fish consumption and its bioactive constituents. *Food Chemistry*, 369, 130874. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130874> EDN: <https://elibrary.ru/fjsqlf>
9. Gao, X., Kong, J., Zhu, H., Mao, B., Cui, S. & Zhao, J. (2022). *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* and *Lactococcus* response to environmental stress: Mechanisms and application of cross-protection to improve resistance against freeze-drying. *Journal of Applied Microbiology*, 132, 802-821. <https://doi.org/10.1111/jam.15251> EDN: <https://elibrary.ru/hezagp>
10. Gu, Y., Li, B., Tian, J., Wu, R. & He, Y. (2018). The response of LuxS/AI-2 quorum sensing in *Lactobacillus fermentum* 2-1 to changes in environmental growth conditions. *Annals of Microbiology*, 68, 287-294. <https://doi.org/10.1007/s13213-018-1337-z> EDN: <https://elibrary.ru/llqblr>
11. Van de Guchte, M., Serror, P., Chervaux, C., Smokvina, T., Ehrlich, S.D. & Maguin, E. (2002). Stress responses in lactic acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 82(1-4), 187-216. <https://doi.org/10.1023/A:1020631532202> EDN: <https://elibrary.ru/mcgexh>
12. Hossain, M.I. et al. (2021). Comprehensive molecular, probiotic, and quorum-sensing characterization of anti-listerial lactic acid bacteria, and applica-

- tion as bioprotective in a food (milk) model. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 6516-6534. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19034> EDN: <https://elibrary.ru/dwfyde>
13. Kim, H.S., Oh, H., Kim, B. et al. (2023). Multifunctional effects of *Lactobacillus sakei* HEM 224 on the gastrointestinal tract and airway inflammation. *Scientific Reports*, 13, 17918. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45043-0> EDN: <https://elibrary.ru/cpgcrn>
 14. Liu, S., Ma, Y., Zheng, Y., Zhao, W., Zhao, X., Luo, T., Zhang, J. & Yang, Z. (2020). Cold-Stress Response of Probiotic *Lactobacillus plantarum* K25 by iTRAQ Proteomic Analysis. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(2), 187-195. <https://doi.org/10.4014/jmb.1909.09021> EDN: <https://elibrary.ru/slpyzn>
 15. Marceau, A., Zagorec, M. & Champomier-Vergès, M.C. (2003). Positive effects of growth at suboptimal temperature and high salt concentration on long-term survival of *Lactobacillus sakei*. *Research in Microbiology*, 154, 37-42. [https://doi.org/10.1016/S0923-2508\(02\)00010-4](https://doi.org/10.1016/S0923-2508(02)00010-4)
 16. Miller, M.B. (2001). Quorum sensing in bacteria. *Annual Review of Microbiology*, 55, 165-199. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.55.1.165>
 17. Montanari, C., Barbieri, F., Magnani, M., Grazia, L., Gardini, F. & Tabanelli, G. (2018). Phenotypic Diversity of *Lactobacillus sakei* Strains. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02003>
 18. Nikiforova, A., Zamaratskaia, G. & Pickova, J. (2020). Fatty acid composition of salted and fermented products from Baikal omul (*Coregonus autumnalis migratorius*). *Journal of Food Science and Technology*, 57, 595-605. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04091-z> EDN: <https://elibrary.ru/zmeach>
 19. Qian, X., Tian, P., Zhao, J., Zhang, H., Wang, G. & Chen, W. (2022). Quorum Sensing of Lactic Acid Bacteria: Progress and Insights. *Food Reviews International*, 39(7), 4781-4792. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2062766> EDN: <https://elibrary.ru/mhdkzq>
 20. Skåra, T., Axelsson, L., Stefansson, G., Ekstrand, B. & Hagen, H. (2015). Fermented and ripened fish products in the northern European countries. *Journal of Ethnic Foods*, 2(1), 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.02.004>
 21. Song, E.J., Lee, E.S., Park, S.L., Choi, H.J., Roh, S.W. & Nam, Y.D. (2018). Bacterial community analysis in three types of the fermented seafood, jeotgal, produced in South Korea. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 82(8), 1444-1454. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1469395>
 22. Speranza, B., Racioppo, A., Bevilacqua, A., Beneduce, L., Sinigaglia, M. & Corbo, M.R. (2015). Selection of Autochthonous Strains as Starter Cultures for

- Fermented Fish Products. *Journal of Food Science*, 80(1), M151-M160. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12721>
23. Tajdozian, H., Seo, H., Jeong, Y. et al. (2024). Efficacy of lyophilized *Lactobacillus sakei* as a potential candidate for preventing carbapenem-resistant *Klebsiella* infection. *Annals of Microbiology*, 74(28). <https://doi.org/10.1186/s13213-024-01773-8> EDN: <https://elibrary.ru/ywbksc>
 24. Trunk, T., Khalil, H.S. & Leo, J.C. (2018). Bacterial autoaggregation. *AIMS Microbiology*, 4(1), 140-164. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.1.140>
 25. Yang, H., He, M. & Wu, C. (2021). Cross protection of lactic acid bacteria during environmental stresses: Stress responses and underlying mechanisms. *LWT*, 144, 111203. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111203> EDN: <https://elibrary.ru/nvykru>
 26. Zagorec, M. & Champomier-Vergès, M.C. (2017). *Lactobacillus sakei*: A Starter for Sausage Fermentation, a Protective Culture for Meat Products. *Microorganisms*, 5(3), 56. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030056>
 27. Zou, X., Pan, L., Xu, M., Wang, X., Wang, Q. & Han, Y. (2023). Probiotic potential of *Lactobacillus sakei* L-7 in regulating gut microbiota and metabolism. *Microbiological Research*, 274, 127438. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127438> EDN: <https://elibrary.ru/dbxzlz>

References

1. Nikiforova, A.P., Khazagaeva, S.N. & Artyukhova, S.I. (2019). Research of biochemical activity of *Lactobacillus sakei* LSK-104 strain. *Vestnik VSGUTU*, 4(75), 62-68. EDN: <https://elibrary.ru/arivmh>
2. Nikiforova, A.P. (2020). Prospects for the production of fermented fish products using lactic acid bacteria. *Technologies of Food and Processing Industry of Agro-Industrial Complex — Healthy Food Products*, 2, 17-24. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10038> EDN: <https://elibrary.ru/zejayp>
3. Oleskin, A.V. (2009). Biosociality of unicellular organisms (based on research of prokaryotes). *Journal of General Biology*, 70(3), 225-238. EDN: <https://elibrary.ru/kavohr>
4. Ammor, S., Dufour, E., Zagorec, M., Chaillou, S. & Chevallier, I. (2005). Characterization and selection of *Lactobacillus sakei* strains isolated from traditional dry-sausage. *Food Microbiology*, 22, 529-538. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2004.11.016>
5. Bonaccio, M., Ruggiero, E., Castelnovo, A.D., Costanzo, S., Persichillo, M., Curtis, A.D. & Iacoviello, L. (2017). Fish intake is associated with lower cardiovascular risk in a Mediterranean population: Prospective results from the

- Molisani study. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 27, 865-873. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2017.08.004>
6. Chai, H.J., Wu, C.J., Yang, S.H., Li, T.L. & Pan, B.S. (2016). Peptides from hydrolysate of lantern fish (*Benthosema pterotum*) proved neuroprotective in vitro and in vivo. *Journal of Functional Foods*, 24, 438-449. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.04.009>
 7. Chaillou, S., Champomier-Vergès, M.C., Cornet, M., Crutz Le Coq, A.M., Dudzé, A.M., Martin, V., Beaufls, S., Bossy, R., Darbon-Rongère, E., Loux, V. et al. (2005). Complete genome sequence of the meat-borne lactic acid bacterium *Lactobacillus sakei* 23K. *Nature Biotechnology*, 23, 1527-1533. <https://doi.org/10.1038/nbt1160>
 8. Chen, J., Jayachandran, M., Bai, W. & Xu, B. (2022). A critical review on the health benefits of fish consumption and its bioactive constituents. *Food Chemistry*, 369, 130874. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130874> EDN: <https://elibrary.ru/fjsqlf>
 9. Gao, X., Kong, J., Zhu, H., Mao, B., Cui, S. & Zhao, J. (2022). *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* and *Lactococcus* response to environmental stress: Mechanisms and application of cross-protection to improve resistance against freeze-drying. *Journal of Applied Microbiology*, 132, 802-821. <https://doi.org/10.1111/jam.15251> EDN: <https://elibrary.ru/hezagp>
 10. Gu, Y., Li, B., Tian, J., Wu, R. & He, Y. (2018). The response of LuxS/AI-2 quorum sensing in *Lactobacillus fermentum* 2-1 to changes in environmental growth conditions. *Annals of Microbiology*, 68, 287-294. <https://doi.org/10.1007/s13213-018-1337-z> EDN: <https://elibrary.ru/lqblr>
 11. Van de Guchte, M., Serror, P., Chervaux, C., Smokvina, T., Ehrlich, S.D. & Maguin, E. (2002). Stress responses in lactic acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 82(1-4), 187-216. <https://doi.org/10.1023/A:1020631532202> EDN: <https://elibrary.ru/mcgexh>
 12. Hossain, M.I. et al. (2021). Comprehensive molecular, probiotic, and quorum-sensing characterization of anti-listerial lactic acid bacteria, and application as bioprotective in a food (milk) model. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 6516-6534. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19034> EDN: <https://elibrary.ru/dwfyde>
 13. Kim, H.S., Oh, H., Kim, B. et al. (2023). Multifunctional effects of *Lactobacillus sakei* HEM 224 on the gastrointestinal tract and airway inflammation. *Scientific Reports*, 13, 17918. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45043-0> EDN: <https://elibrary.ru/cpgcrn>

14. Liu, S., Ma, Y., Zheng, Y., Zhao, W., Zhao, X., Luo, T., Zhang, J. & Yang, Z. (2020). Cold-Stress Response of Probiotic *Lactobacillus plantarum* K25 by iTRAQ Proteomic Analysis. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(2), 187-195. <https://doi.org/10.4014/jmb.1909.09021> EDN: <https://elibrary.ru/slpzyn>
15. Marceau, A., Zagorec, M. & Champomier-Vergès, M.C. (2003). Positive effects of growth at suboptimal temperature and high salt concentration on long-term survival of *Lactobacillus sakei*. *Research in Microbiology*, 154, 37-42. [https://doi.org/10.1016/S0923-2508\(02\)00010-4](https://doi.org/10.1016/S0923-2508(02)00010-4)
16. Miller, M.B. (2001). Quorum sensing in bacteria. *Annual Review of Microbiology*, 55, 165-199. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.55.1.165>
17. Montanari, C., Barbieri, F., Magnani, M., Grazia, L., Gardini, F. & Tabanelli, G. (2018). Phenotypic Diversity of *Lactobacillus sakei* Strains. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02003>
18. Nikiforova, A., Zamaratskaia, G. & Pickova, J. (2020). Fatty acid composition of salted and fermented products from Baikal omul (*Coregonus autumnalis migratorius*). *Journal of Food Science and Technology*, 57, 595-605. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04091-z> EDN: <https://elibrary.ru/zmeach>
19. Qian, X., Tian, P., Zhao, J., Zhang, H., Wang, G. & Chen, W. (2022). Quorum Sensing of Lactic Acid Bacteria: Progress and Insights. *Food Reviews International*, 39(7), 4781-4792. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2062766> EDN: <https://elibrary.ru/mhdkzq>
20. Skåra, T., Axelsson, L., Stefansson, G., Ekstrand, B. & Hagen, H. (2015). Fermented and ripened fish products in the northern European countries. *Journal of Ethnic Foods*, 2(1), 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.02.004>
21. Song, E.J., Lee, E.S., Park, S.L., Choi, H.J., Roh, S.W. & Nam, Y.D. (2018). Bacterial community analysis in three types of the fermented seafood, jeotgal, produced in South Korea. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 82(8), 1444-1454. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1469395>
22. Speranza, B., Racioppo, A., Bevilacqua, A., Beneduce, L., Sinigaglia, M. & Corbo, M.R. (2015). Selection of Autochthonous Strains as Starter Cultures for Fermented Fish Products. *Journal of Food Science*, 80(1), M151-M160. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12721>
23. Tajdozian, H., Seo, H., Jeong, Y. et al. (2024). Efficacy of lyophilized *Lactobacillus sakei* as a potential candidate for preventing carbapenem-resistant *Klebsiella* infection. *Annals of Microbiology*, 74(28). <https://doi.org/10.1186/s13213-024-01773-8> EDN: <https://elibrary.ru/ywbksc>
24. Trunk, T., Khalil, H.S. & Leo, J.C. (2018). Bacterial autoaggregation. *AIMS Microbiology*, 4(1), 140-164. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.1.140>

25. Yang, H., He, M. & Wu, C. (2021). Cross protection of lactic acid bacteria during environmental stresses: Stress responses and underlying mechanisms. *LWT*, 144, 111203. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111203> EDN: <https://elibrary.ru/nvykru>
26. Zagorec, M. & Champomier-Vergès, M.C. (2017). *Lactobacillus sakei*: A Starter for Sausage Fermentation, a Protective Culture for Meat Products. *Microorganisms*, 5(3), 56. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030056>
27. Zou, X., Pan, L., Xu, M., Wang, X., Wang, Q. & Han, Y. (2023). Probiotic potential of *Lactobacillus sakei* L-7 in regulating gut microbiota and metabolism. *Microbiological Research*, 274, 127438. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127438> EDN: <https://elibrary.ru/dbxzl5>

ВКЛАД АВТОРОВ

Никифорова А.П.: разработка концепции научной работы, составление и редактирование черновика рукописи, сбор и анализ данных.

Хамагаева И.С.: научные консультации, разработка концепции научной работы.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Anna P. Nikiforova: development of study conception, drafting of the manuscript, editing of the draft of the manuscript, writing of the manuscript.

Irina S. Khamagaeva: scientific consultations, the development of study conception

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Никифорова Анна Платоновна, канд. техн. наук, доцент Факультета биотехнологий

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО)

Кронверкский проспект, 49А, г. Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация,

anna.p.nikiforova@gmail.com

Хамагаева Ирина Сергеевна, д-р техн. наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»

*ул. Ключевская, 40В, стр. 1, г. Улан-Удэ, 670013, Российская Феде-
рация
ikhamagaeva@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna P. Nikiforova, Cand. Sci. (Technology), Associate Professor of the Fa-
culty of Biotechnologies

ITMO University

49A, Kronverksky Pr., St. Petersburg, 197101, Russian Federation

anna.p.nikiforova@gmail.com

SPIN-code: 1595-7018

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3003-8638>

ResearcherID: B-6798-2016

Scopus Author ID: 57194715586

Irina S. Khamagaeva, Dr. Sci. (Technology), Professor

East Siberia State University of Technology and Management

*40V, building 1, Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, 670013, Russian Fede-
ration*

ikhamagaeva@mail.ru

SPIN-code: 9964-4020

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

Scopus Author ID: 6506395213

Поступила 26.12.2024

После рецензирования 15.01.2025

Принята 13.02.2025

Received 26.12.2024

Revised 15.01.2025

Accepted 13.02.2025