

# Пищевые ингредиенты, сырье и материалы Food ingredients, raw materials and materials

Научная статья  
УДК 664.9.022  
DOI: 10.14529/food250203

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА ДИНАМИКУ РОСТА *LACTOBACILLUS SAKEI* В ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ С РАЗЛИЧНЫМ БЕЛКОВЫМ СУБСТРАТОМ

**А.С. Москвичев**, *moskvichev\_as@spbstu.ru*

**Ю.Г. Базарнова**, *jbazarnova@spbstu.ru*

**А.А. Тимохина**, *timohina.aa@edu.spbstu.ru*

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** В настоящее время большое внимание уделяется изучению природных антимикробных агентов, которые безопасно и эффективно защищают пищевые продукты от развития микробиологической порчи. Исследование антимикробных свойств новых, малоизученных бактериоцинов представляет важную задачу и является актуальным, в связи с этим в последние годы внимание обращено к сакацину – бактериоцину, синтезируемому бактериями *Lactobacillus sakei*. В качестве объекта исследования использовали лиофилизированную культуру *Lactobacillus sakei* DSM-20498, а также использовали белковый субстрат сухого ферментативного мясного пептона и сухого экстракта куриного белка. Установлено влияние температурного фактора на динамику роста и накопление биомассы *Lactobacillus sakei* DSM-20498 при глубинном культивировании на питательных средах с различными белковыми субстратами: мясным пептоном и экстрактом куриного белка. Культивирование осуществляли в лабораторном биореакторе с контролем ключевых физико-химических параметров (рН, температура, скорость перемешивания). Установлено, что культура *Lactobacillus sakei* DSM-20498 демонстрирует высокую чувствительность к изменениям параметров культивирования, в том числе температурному режиму и составу белкового субстрата. Наибольшая удельная скорость роста *Lactobacillus sakei* DSM-20498 достигалась при температуре  $(32 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Максимальное значение  $\mu$  ( $0,63 \text{ ч}^{-1}$ ) и наибольший прирост биомассы культуры ( $9,0 \log \text{ КОЕ/см}^3$ ) наблюдался на питательных средах с мясным пептоном, отличающимся низкомолекулярным составом белковых веществ. Таким образом, температура  $(32 \pm 1)^\circ\text{C}$  и использование пептона в качестве источника белка в питательных средах является предпочтительными для культивирования *Lactobacillus sakei* DSM-20498 с целью максимального накопления биомассы.

**Ключевые слова:** *Lactobacillus sakei*, бактериоцин, культивирование, питательная среда, белковые субстраты, температура культивирования, удельная скорость роста, биомасса, мясной пептон, экстракт куриного белка

**Для цитирования:** Москвичев А.С., Базарнова Ю.Г., Тимохина А.А. Влияние температуры культивирования на динамику роста *Lactobacillus sakei* в питательных средах с различным белковым субстратом // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2025. Т. 13, № 2. С. 26–33. DOI: 10.14529/food250203

Original article  
DOI: 10.14529/food250203

## INFLUENCE OF CULTURE TEMPERATURE ON THE GROWTH DYNAMICS OF *LACTOBACILLUS SAKEI* IN NUTRIENT MEDIA WITH VARIOUS PROTEIN SUBSTRATES

A.S. Moskvichev, moskvichev\_as@spbstu.ru

J.G. Bazarnova, jbazarnova@spbstu.ru

A.A. Timohina, timohina.aa@edu.spbstu.ru

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

**Abstract.** Currently, much attention is being paid to the study of natural antimicrobial agents that safely and effectively protect food products from the development of microbiological spoilage. The study of the antimicrobial properties of new, little-studied bacteriocins is an important task and is relevant, in this regard, in recent years attention has been drawn to sakacin, a bacteriocin synthesized by *Lactobacillus sakei* bacteria. A lyophilized culture of *Lactobacillus sakei* DSM-20498 was used as the object of the study, as well as a protein substrate of dry enzymatic meat peptone and dry chicken protein extract. The influence of the temperature factor on the growth dynamics and accumulation of *Lactobacillus sakei* DSM-20498 biomass during deep cultivation on nutrient media with various protein substrates: meat peptone and chicken protein extract. Cultivation was carried out in a laboratory bioreactor with control of key physico-chemical parameters (pH, temperature, mixing rate). It was found that the culture of *Lactobacillus sakei* DSM-20498 demonstrates high sensitivity to changes in cultivation parameters, including temperature conditions and the composition of the protein substrate. The highest specific growth rate of *Lactobacillus sakei* DSM-20498 was achieved at a temperature of  $(32 \pm 1)^\circ\text{C}$ . The maximum value of  $\mu$  ( $0.63 \text{ h}^{-1}$ ) and the largest increase in crop biomass ( $9.0 \log \text{ CFU/cm}^3$ ) were observed on nutrient media with meat peptone, characterized by a low molecular weight composition of protein substances. Thus, the temperature  $(32 \pm 1)^\circ\text{C}$  and the use of peptone as a protein source in nutrient media are preferable for the cultivation of *Lactobacillus sakei* DSM-20498 in order to maximize biomass accumulation.

**Keywords:** *Lactobacillus sakei*, bacteriocin, cultivation, nutrient medium, protein substrates, culture temperature, specific growth rate, biomass, meat peptone, chicken protein extract

**For citation:** Moskvichev A.S., Bazarnova J.G., Timohina A.A. Influence of culture temperature on the growth dynamics of *Lactobacillus Sakei* in nutrient media with various protein substrates. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2025, vol. 13, no. 2, pp. 26–33. (In Russ.) DOI: 10.14529/food250203

### Введение

На протяжении последних десятилетий большое внимание науки и пищевых технологий уделяется поиску и изучению природных антимикробных агентов, которые безопасно и эффективно защищают пищевые продукты от развития технически вредных и патогенных микроорганизмов: *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum*, *Staphylococcus aureus* и других [1–4].

Известно, что некоторые виды молочно-кислых бактерий, например родов *Lactobacillus*, *Lactococcus* и *Pediococcus*, способны продуцировать антибиотико-подобные пепти-

ды – бактериоцины, обладающие антимикробными свойствами. Наиболее изученными бактериоцинами с доказанной безопасностью являются низин, продуцируемый *Lactococcus lactis*, и педиоцин, продуцируемый *Lactobacillus plantarum* или *Pediococcus acidilactici*. Их применение в качестве пищевых консервантов имеет одобрение в более чем 40 странах, включая ЕС и США [5–9]. Сообщается, что низин и педиоцин обладают антибактериальной активностью в отношении широкой группы грамположительных бактерий, включая *Bacillus cereus*, *Micrococcus luteus*, *Listeria monocytogenes*, и малоэффективны против

плесеней, дрожжей и грамотрицательных бактерий [10–12].

Методы выделения и исследование антимикробных свойств новых, малоизученных бактериоцинов представляет важную задачу и является актуальным. Так, в последние годы внимание биотехнологов обращено к сакацину – бактериоцину, синтезируемому бактериями *Lactobacillus sakei*. Исследования сообщают о его высокой антимикробной активности в отношении *Enterococcus faecalis* и *Pseudomonas aeruginosa*. Однако способы получения сакацина и условия культивирования его продуцентов изучены недостаточно [13–15].

Культивирование микроорганизмов может осуществляться как на твердых, так и в жидких питательных средах, однако для молочнокислых бактерий, включая *Lactobacillus sakei*, в литературе отмечается преимущество суспензионного (глубинного) метода. Твердые среды, например, агаризованные, традиционно применяются для выделения чистых культур и первичного скрининга, но их использование ограничено в промышленных масштабах из-за сложности контроля параметров и низкой воспроизводимости. В отличие от них, жидкие среды обеспечивают равномерное распределение питательных веществ, газообмен и возможность точной регуляции критически важных параметров, таких как pH, температура и аэрация, что особенно важно для молочнокислых бактерий, активно продуцирующих органические кислоты и бактериоцины [16–20].

Как отмечают Todorov и др. [21], глубинный метод в биореакторах позволяет не только стабилизировать условия роста, но и поддерживать оптимальный pH за счет автоматического титрования, предотвращая подавление роста клеток накоплением метаболитов. Это критично для получения высокой биомассы и целевых бактериоцинов, которые синтезируются в определенных фазах роста. Кроме того, жидкие среды обеспечивают эффективное масштабирование – от лабораторных ферментеров до промышленных биореакторов объемом до 1000 л, что делает метод экономически выгодным. Несмотря на это, для *Lactobacillus sakei* остается дефицит данных по оптимизации состава сред и режимов культивирования, что затрудняет разработку стандартизированных протоколов для увеличения выхода антимикробных соединений [22].

Известно, что для быстрого развития молочнокислым бактериям необходимы питательные среды, включающие оптимальные источники углерода, азота, витаминов и микроэлементов, а также создание соответствующих физико-химических условий (температура, интенсивность перемешивания, аэрация, уровень pH). Для выделения ацидофильных молочнокислых бактерий в качестве селективной питательной среды традиционно используется среда MRS (Man-Rogosa-Sharpe), в которой источниками азота выступают ферментативный гидролизат казеина и дрожжевой экстракт. При культивировании бактериоцинпродуцирующих лактобактерий особое значение имеют белковые субстраты в питательных средах. Сообщается, что замена гидролизата казеина на соевый и пшеничный гидролизаты снижает скорость биосинтеза бактериоцинов у *Lactobacillus sakei* на 15–20 %. Это связано с дефицитом пролина и лизина в растительных субстратах, которые критичны для метаболизма молочнокислых бактерий. Кроме того, повышение концентрации дрожжевого экстракта с 0,4 до 2,5 % в MRS-среде стимулирует продукцию педиоцина PA-1 штаммом *Pediococcus acidilactici* за счет увеличения доступности витаминов группы B [23, 24].

Большое влияние на протекание процесса культивирования микроорганизмов оказывает температура. Сообщается, что температурный оптимум развития штаммов *Lactobacillus sakei* лежит в довольно широких пределах от 26 до 37 °C, что подтверждает важность выбора температурных режимов культивирования [16, 25].

Контроль pH среды является важным аспектом разработки культивирования *Lactobacillus sakei*. Исследования Leroy и др. [26] демонстрируют, что поддержание pH в диапазоне 6,0–6,5 позволяет минимизировать продолжительность лаг-фазы и увеличить скорость роста культуры. Статирование обеспечило более стабильные условия культивирования, способствовавшие увеличению как числа жизнеспособных клеток, так и синтеза белка. Условия без статирования показали ограниченный рост и продукцию белка из-за накопления кислотных продуктов метаболизма и снижения pH. Ранее нами было исследовано, что добавление щелочного раствора 1n NaOH в ключевые моменты предотвращало резкое снижение pH, поддерживая его на

уровне, благоприятном для роста *Lactobacillus sakei* (6,1–6,7).

**Цель работы** – изучить влияние температурного фактора на динамику роста *Lactobacillus sakei* при культивировании на различных белковых субстратах.

**Объекты и методы исследований**

В качестве объекта исследования использовали лиофилизированную культуру *Lactobacillus sakei* DSM-20498. Культивирование осуществляли на модифицированных питательных средах MRS (Condalab, Испания). В качестве белкового субстрата использовали сухой ферментативный мясной пептон (Condalab, Испания) и сухой экстракт куриного белка, полученный из мышечной ткани кур путем экстракции при температуре 85 °С, путем распылительной сушки при температуре на входе 120 °С до влажности (6 ± 0,5) %. Исходная концентрация вносимого белкового субстрата составляла 20 г на 1000 мл готовой питательной среды. Состав питательной среды приведен в табл. 1.

В табл. 2 приведены характеристики используемых белковых субстратов.

Питательные среды инокулировали суспензионными клетками культуры *Lactobacillus sakei* DSM-20498 в количестве  $2,5 \times 10^7$  КОЕ (колониеобразующих единиц) в каждый подготовленный образец питательной среды объемом 200 мл. Культивирование

*Lactobacillus sakei* осуществляли в шейкере-термостате Stegler-22В (100 линейных движений/мин) при температурах (27 ± 1), (32 ± 1), (37 ± 1) и (42 ± 1) °С. Исходный уровень рН питательных сред составлял (6,5 ± 0,05). Для контроля кислотности культуральных сред в процессе культивирования измеряли рН на рН-метре Hanna HI2210 с периодичностью 1 ч. Для статирования рН среды использовали 1 н NaOH.

Концентрацию клеточной суспензии в процессе культивирования определяли путем измерения ее оптической плотности спектрофотометрическим методом ( $\lambda = 590$  нм) каждые 2 ч с последующим пересчетом на количество клеток в суспензии в КОЕ/мл по калибровочному графику, полученному методом посева стандартной серии культуры на плотную среду MRS (HI Media) [27].

Удельную скорость роста микроорганизмов ( $\mu$ , ч<sup>-1</sup>) в экспоненциальной фазе рассчитывали по формуле [28]:

$$\mu = \frac{2,303 \cdot (\lg N_{\tau} - \lg N_0)}{\tau - \tau_0},$$

где  $N_0$  – начальная концентрация клеток (КОЕ/мл);  $N_{\tau}$  – концентрация клеток в момент времени  $\tau$ ;  $\tau - \tau_0$  – промежуток времени роста.

Для получения достоверных результатов эксперимент проводили в 3-кратной повторности. Числовые значения, указанные на графиках, являются среднеарифметическими с

Таблица 1

Состав питательной среды MRS

Компоненты	Количество, г/кг	Компоненты	Количество, г/кг
Белковый субстрат	20,00	Натрия гидрофосфат	2,00
Глюкоза	20,00	Твин 80 (Е433)	1,00
Дрожжевой экстракт	5,00	Магний сульфат	0,10
Натрия ацетат	5,00	Марганца сульфат	0,05
Аммония цитрат	2,00	Вода дистиллированная	до 1 кг

Таблица 2

Характеристики белковых субстратов

Состав	Экстракт куриного белка	Мясной пептон
Содержание сырого протеина, %	83,0	80,0
Влажность, %	6,0	6,0
Средняя молекулярная масса белковых веществ, кДа	80,0	5,0

достоверностью  $P = 0,95$ , доверительный интервал  $\Delta \pm 10,0 \%$ .

### Результаты и их обсуждение

На рисунке в полулогарифмической системе координат «десятичный логарифм КОЕ/мл – время» приведена динамика роста культуры *Lactobacillus sakei* в исследуемых температурных режимах.

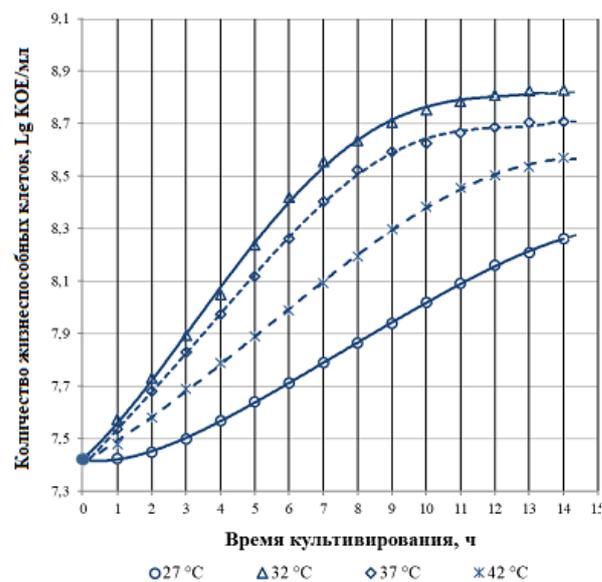
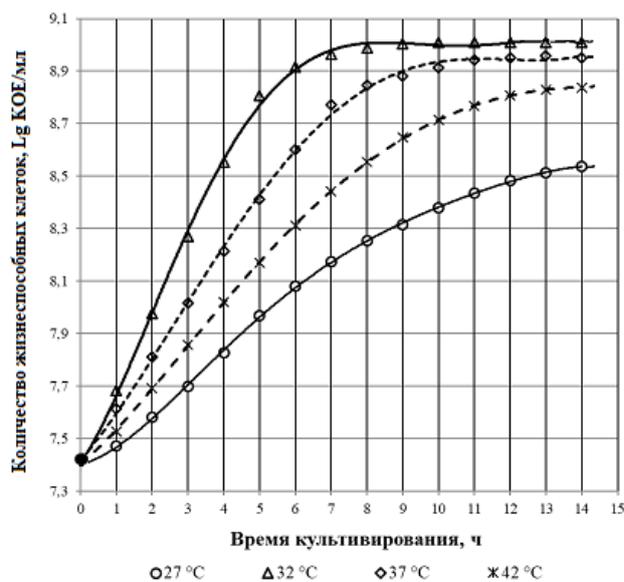
В полулогарифмических координатах экспоненциальная фаза роста представляет собой прямую, тангенс угла наклона которой к временной оси численно равен величине удельной скорости роста культур  $\mu$ ,  $\text{ч}^{-1}$  [28].

В табл. 3 приведены полученные расчетным путем значения удельной скорости роста культуры *L. sakei* в исследуемых температурных режимах.

Установлено, что наибольшая удельная скорость роста *Lactobacillus sakei* DSM-20498 при культивировании на различных белковых субстратах достигается при температуре

( $32 \pm 1$ ) °С. При этом максимальное значение  $\mu$  ( $0,63 \text{ ч}^{-1}$ ) и наибольший прирост биомассы культуры наблюдался на питательных средах с мясным пептоном, что, очевидно, связано с лучшей усвояемостью белковых веществ пептонового субстрата, отличающихся от экстракта куриного белка более низкой молекулярной массой. Так, стационарная фаза на пептоновых субстратах достигалась уже на 7 час культивирования, что в 1,5 раза быстрее, чем на среде с экстрактом куриного белка. Следует отметить, что по мере увеличения продолжительности культивирования разница в накоплении биомассы на исследуемых белковых субстратах нивелируется, поскольку продуцируемые в процессе роста культуры *Lactobacillus sakei* протеазы способствуют расщеплению белков до низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот.

Одновременно отмечено, что с повышением температуры культивирования выше 37 °С



Динамика роста *L. sakei* в полулогарифмических координатах в различных температурных режимах: а) питательная среда с добавлением мясного пептона; б) питательная среда с экстрактом куриного белка

Удельная скорость роста *Lactobacillus sakei* DSM-20498,  $\mu$ ,  $\text{ч}^{-1}$

Таблица 3

Белковый субстрат	Температура культивирования, °С			
	27	32	37	42
Экстракт куриного белка	0,18	<b>0,36</b>	0,33	0,24
Мясной пептон	0,29	<b>0,63</b>	0,45	0,34

наблюдается снижение скорости роста *Lactobacillus sakei*, которое может быть связано с активацией теплового шока микроорганизмов, приводящего к снижению метаболической активности и скорости деления клеток. На средах с мясным пептоном разница в скорости накопления биомассы при культивировании в условиях 32 и 37 °С меньше, чем на средах с экстрактом куриного белка, что, скорее всего, связано с большей доступностью низкомолекулярных питательных веществ в средах на мясном пептоне.

#### Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что культура *Lactobacillus sakei* DSM-20498 демонстрирует высокую чувствительность к изменениям параметров культивирования,

в том числе, температурному режиму и составу белкового субстрата. Отмечены активный рост биомассы и высокая плотность клеточной популяции *Lactobacillus sakei* при культивировании на низкомолекулярном белковом субстрате.

Использование пептона в качестве источника белка в питательных средах является предпочтительным для культивирования *Lactobacillus sakei* ввиду его более высокой биодоступности.

Дальнейшие исследования будут направлены на культивирование *Lactobacillus sakei* в выбранных условиях для получения активных белковых метаболитов, изучения их фракционного состава и барьерных свойств.

#### Список литературы / References

1. Amiri S. et al. Natural protective agents and their applications as bio-preservatives in the food industry: An overview of current and future applications. *Italian Journal of Food Science*, 2021, vol. 33, no. SP1, pp. 55–68. DOI: 10.15586/ijfs.v33iSP1.2045
2. Bensid A. et al. Antioxidant and antimicrobial preservatives: Properties, mechanism of action and applications in food – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, vol. 62, no. 11, pp. 2985–3001. DOI: 10.1080/10408398.2020.1862046
3. Wen L. et al. Research progress on natural preservatives of meat and meat products: classifications, mechanisms and applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2024, vol. 104, no. 12, pp. 7085–7095. DOI: 10.1002/jsfa.13495
4. Yu H.H., Chin Y.W., Paik H.D. Application of natural preservatives for meat and meat products against food-borne pathogens and spoilage bacteria: A review. *Foods*, 2021, vol. 10, no. 10, p. 2418. DOI: 10.3390/foods10102418
5. Fugaban J.I.I. et al. Antimicrobial properties of *Pediococcus acidilactici* and *Pediococcus pentosaceus* isolated from silage. *Journal of applied microbiology*, 2022, vol. 132, no. 1, pp. 311–330. DOI: 10.1111/jam.15205
6. Gharsallaoui A. et al. Nisin as a food preservative: part 1: physicochemical properties, antimicrobial activity, and main uses. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2016, vol. 56, no. 8, pp. 1262–1274. DOI: 10.1080/10408398.2013.763765
7. Gharsallaoui A. et al. Nisin as a food preservative: part 2: antimicrobial polymer materials containing nisin. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2016, vol. 56, no. 8, pp. 1275–1289. DOI: 10.1080/10408398.2013.763766
8. Khorshidian N. et al. Antibacterial activity of pediocin and pediocin-producing bacteria against *Listeria monocytogenes* in meat products. *Frontiers in microbiology*, 2021, vol. 12, p. 709959. DOI: 10.3389/fmicb.2021.709959
9. Lin T.H., Pan T.M. Characterization of an antimicrobial substance produced by *Lactobacillus plantarum* NTU 102. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 2019, vol. 52, no. 3, pp. 409–417. DOI: 10.1016/j.jmii.2017.08.003
10. Darbandi A. et al. Bacteriocins: properties and potential use as antimicrobials. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 2022, vol. 36, no. 1, p. e24093. DOI: 10.1002/jcla.24093
11. Ferrer-Bustins N. et al. The antilisterial effect of *Lactobacillus sakei* CTC494 in relation to dry fermented sausage ingredients and temperature in meat simulation media. *Fermentation*, 2024, vol. 10, no. 6, p. 326. DOI: 10.3390/fermentation10060326

12. Kaveh S. et al. Bio-preservation of meat and fermented meat products by lactic acid bacteria strains and their antibacterial metabolites. *Sustainability*, 2023, vol. 15, no. 13, p. 10154. DOI: 10.3390/su151310154
13. Shentu H. et al. Purification, characterization, and mode of action of Sakacin ZFM225, a novel bacteriocin from *Lactobacillus sakei* ZFM225. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 2023, vol. 35, p. 101494. DOI: 10.1016/j.bbrep.2023.101494
14. Simon L. et al. Sakacin G, a new type of antilisterial bacteriocin. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, vol. 68, no. 12, pp. 6416–6420. DOI: 10.1128/AEM.68.12.6416-6420.2002
15. Jiménez J. J. et al. Cloning, production, and functional expression of the bacteriocin sakacin A (SakA) and two SakA-derived chimeras in lactic acid bacteria (LAB) and the yeasts *Pichia pastoris* and *Kluyveromyces lactis*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2013, vol. 40, no. 9, pp. 977–993. DOI: 10.1007/s10295-013-1302-6
16. Lechiancole T., Ricciardi A., Parente E. Optimization of media and fermentation conditions for the growth of *Lactobacillus sakei*. *Annals of microbiology*, 2002, vol. 52, no. 3, pp. 257–274.
17. Nikiforova A. P., Khazagaeva S. N., Khamagaeva I. S. Optimization of bacterial concentrate media for *Lactobacillus Sakei*. *KnE Life Sciences*, 2022, pp. 190–199. DOI: 10.18502/kls.v7i1.10121
18. Tashakor A. et al. Isolation and identification of a novel bacterium, *Lactobacillus sakei* subsp. *dgh* strain 5, and optimization of growth condition for highest antagonistic activity. *Microbial Pathogenesis*, 2017, vol. 106, pp. 78–84. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.02.008
19. Trinetta V., Rollini M., Manzoni M. Development of a low cost culture medium for sakacin A production by *L. sakei*. *Process Biochemistry*, 2008, vol. 43, no. 11, pp. 1275–1280. DOI: 10.1016/j.procbio.2008.07.011
20. Yeboah P. J., Ibrahim S. A., Krastonov A. A review of fermentation and the nutritional requirements for effective growth media for lactic acid bacteria. *Food Science and Applied Biotechnology*, 2023, vol. 6, no. 2, pp. 215–240. DOI: 10.30721/fsab2023.v6.i2.269
21. Todorov S. D., Franco B. D. G. M., Wiid I. J. In vitro study of beneficial properties and safety of lactic acid bacteria isolated from Portuguese fermented meat products. *Beneficial Microbes*, 2014, vol. 5, no. 3, pp. 351–366. DOI: 10.3920/BM2013.0030
22. Trinetta V., Rollini M., Manzoni M. Development of a low cost culture medium for sakacin A production by *L. sakei*. *Process Biochemistry*, 2008, vol. 43, no. 11, pp. 1275–1280. DOI: 10.1016/j.procbio.2008.07.011
23. Malheiros P.S. et al. Optimization of growth and bacteriocin production by *Lactobacillus sakei* subsp. *sakei*2a. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2015, vol. 46, pp. 825–834. DOI: 10.1590/S1517-838246320140279
24. Nwamaioha N.O., Ibrahim S.A. A selective medium for the enumeration and differentiation of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. *Journal of Dairy Science*, 2018, vol. 101, no. 6, pp. 4953–4961. DOI: 10.3168/jds.2017-14155
25. Montanari C. et al. Phenotypic diversity of *Lactobacillus sakei* strains. *Frontiers in microbiology*, 2018, vol. 9, pp. 2003. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02003
26. Leroy F., De Vuyst L. Modelling microbial interactions in foods. *Modelling microorganisms in food*, 2007, pp. 214–224. DOI: 10.1533/9781845692940.2.214
27. Myers J. A., Curtis B. S., Curtis W. R. Improving accuracy of cell and chromophore concentration measurements using optical density. *BMC biophysics*, 2013, vol. 6, pp. 1–16. DOI: 10.1186/2046-1682-6-4
28. Verma P. (Ed.). *Industrial microbiology and biotechnology*. Singapore: Springer, 2022. 1138 p. DOI: 10.1007/978-981-16-5214-1

***Информация об авторах***

**Москвичев Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент Высшей школы биотехнологий и пищевых производств, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия; moskvichev\_as@spbstu.ru

**Базарнова Юлия Генриховна**, доктор технических наук, профессор, директор Высшей школы биотехнологий и пищевых производств, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия; jbazarnova@spbstu.ru

**Тимохина Анна Алексеевна**, магистрант Высшей школы биотехнологий и пищевых производств, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия; timohina.aa@edu.spbstu.ru

***Information about the authors***

**Aleksandr S. Moskvichev**, candidate of technical sciences, associate professor of the Graduate School of Biotechnology and Food Science, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia; moskvichev\_as@spbstu.ru

**Julia G. Bazarnova**, doctor of technical sciences, professor, director of the Graduate School of Biotechnology and Food Science, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia; jbazarnova@spbstu.ru

**Anna A. Timohina**, master's student of the Graduate School of Biotechnology and Food Science, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia; timohina.aa@edu.spbstu.ru

*Статья поступила в редакцию 14.03.2025*

*The article was submitted 14.03.2025*