Бактериология, 2026, том 11, №2, с. 94–98
Bacteriology, 2026, volume 11, No 2, p. 94–98

DOI: 10.20953/2500-1027-2026-2-94-98

Исследование адгезивной активности оральных лактобактерий (*in vitro*)

А.А.Пономарева, Е.И.Харина, А.А.Морозова, Л.Д.Тимченко, Н.И.Пенькова, Н.И.Гандрабурова, М.Н.Сизоненко

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь, Российская Федерация

В статье проведена оценка адгезивной активности 11 штаммов оральных лактобактерий, выделенных от здоровых добровольцев и идентифицированных с помощью MALDI-TOF масс-спектрометрии. Адгезия изучалась по методу Брилиса с использованием эритроцитов человека I (0) Rh+ группы крови. Проведены расчеты индекса адгезии, процента адгезированных эритроцитов и среднего показателя адгезии (СПА). Полученные результаты указывают на значительную гетерогенность адгезивных свойств с разделением штаммов на группы средней адгезии (СПА 171,2 ± 8,4 [162,3–180,0]), низкой (СПА 62,8 ± 5,2 [59,5–66,1]) и очень низкой (СПА 29,9 ± 7,4 [25,8–34,0]). Данные, полученные в ходе исследования, подтверждают значительные отличия адгезивных свойств в зависимости от вида, с преобладанием высокой активности у *Lactobacillus fermentum*. Исследование подчеркивает потенциал *L. fermentum* для разработки оральных пробиотических препаратов, способных конкурентно вытеснять патогены и поддерживать гомеостаз ротовой полости.

Ключевые слова: лактобактерии, оральная микробиота, адгезия, пробиотический потенциал, эритроциты

Для цитирования: Пономарева А.А., Харина Е.И., Морозова А.А., Тимченко Л.Д., Пенькова Н.И., Гандрабурова Н.И., Сизоненко М.Н. Исследование адгезивной активности оральных лактобактерий (*in vitro*). Бактериология. 2026; 11(2): 94–98. DOI: 10.20953/2500-1027-2026-2-94-98

Study of adhesive activity of oral lactobacilli (*in vitro*)

A.A.Ponomareva, E.I.Kharina, A.A.Morozova, L.D.Timchenko, N.I.Penkova, N.I.Gandraburova, M.N.Sizonenko

North Caucasus Federal University, Stavropol, Russian Federation

The article evaluates the adhesive activity of 11 strains of oral lactobacilli isolated from healthy volunteers and identified using MALDI-TOF mass spectrometry. Adhesion was studied using the Brillis method with human erythrocytes of blood group I (0) Rh+, and calculations were made of the adhesion index, the percentage of adhered erythrocytes, and the average adhesion index (AAI). The results indicate significant heterogeneity in adhesive properties, with strains divided into groups of medium adhesion (AAI 171.2 ± 8.4 [162.3–180.0]), low (AAI 62.8 ± 5.2 [59.5–66.1]) and very low (AAI 29.9 ± 7.4 [25.8–34.0]). The data obtained during the study confirm significant differences in adhesive properties depending on the species, with a predominance of high activity in *Lactobacillus fermentum*. The study highlights the potential of *L. fermentum* for the development of oral probiotic preparations capable of competitively displacing pathogens and maintaining oral homeostasis.

Key words: lactobacilli, oral microbiota, adhesion, probiotic potential, erythrocytes

For citation: Ponomareva A.A., Kharina E.I., Morozova A.A., Timchenko L.D., Penkova N.I., Gandraburova N.I., Sizonenko M.N. Study of adhesive activity of oral lactobacilli (*in vitro*). Bacteriology. 2026; 11(2): 94–98. (In Russian). DOI: 10.20953/2500-1027-2026-2-94-98

Ротовая полость человека – динамичная микробная экосистема, насчитывающая более 1000 видов бактерий, формирующая сложный биоценоз, поддерживающий гомеостаз слизистой оболочки рта и организма в целом [1, 2]. 1,5% нормальной микрофлоры представлено бактериями *Lactobacillus* spp., обладающими высоким пробиотическим потенциалом [3]. Пробиотический потенциал лактобактерий реализуется прежде всего за счет высокой адгезии, обеспечивающей колонизацию слизистых оболочек и поверхности зубов, что препятствует прикреплению ключевых патогенов полости рта (*Streptococcus mutans*, *Porphyromonas gingivalis*) [4, 5]. Несмотря на многочисленные исследования адгезии лактобактерий к буккальным эпителиоцитам [6], данные об их гемадгезивной активности, особенно для штаммов орального происхождения, остаются ограниченными. Это определяет актуальность настоящей работы, направленной на оценку адгезивных свойств оральных лактобактерий к эритроцитам человека как прогностической модели их пробиотической эффективности.

Цель исследования: изучение адгезивной активности оральных лактобактерий к эритроцитам человека I (0) Rh+ группы крови с использованием классической методики Брилиса.

Для корреспонденции:

Пономарева Аделина Анатольевна, аспирант кафедры микробиологии ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Адрес: 355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Статья поступила 14.01.2026, принята к печати 30.06.2026

For correspondence:

Adelina A. Ponomareva, Postgraduate Student of the Department of Microbiology, North Caucasus Federal University

Address: 1 Pushkin str., Stavropol, 355017, Russian Federation

The article was received 14.01.2026, accepted for publication 30.06.2026

Материалы и методы

Исследование проводили на базе кафедры микробиологии Северо-Кавказского федерального университета. Объектом исследования служили предварительно выделенные из ротовой полости здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 23 лет и идентифицированные до вида 11 штаммов *Lactobacillus* spp.

Исследование включало в себя 2 этапа: на первом этапе – сбор биоматериала с дальнейшим выделением чистых культур оральных лактобактерий и их идентификацией; на втором – определение адгезивной активности выделенных штаммов лактобактерий к эритроцитам человека по методу Брилиса [7].

Сбор биоматериала ротовой полости осуществляли стерильными зондами в соответствии с методическими указаниями [8]. Из полученного биоматериала готовили взвесь на физиологическом растворе с десятикратными разведениями до получения отдельных колоний при высеве на плотную питательную среду. Посевы производили на капустный агар (700 мл капустного отвара, 20 г/л глюкозы, 10 г/л пептона сухого ферментативного, 10 г/л карбоната кальция, агар бактериологический 15 г/л, 300 мл дистиллированной воды) и инкубировали анаэробно при 37°C в течение 48 ч. После визуализации отдельных колоний на поверхности питательной среды была проведена идентификация полученных микроорганизмов до рода путем изучения культуральных, тинкториальных и морфологических свойств. Видовая идентификация проводилась при помощи метода MALDI-TOF масс-спектрометрии.

Определение адгезивной активности полученных штаммов лактобактерий проводили согласно методу Брилиса, который заключается в совместном инкубировании бактерий с эритроцитами и последующей оценке результатов взаимодействия между ними под световым микроскопом [7].

Для подготовки бактериальной суспензии идентифицированные до вида лактобактерии высевали в жидкую MRS-среду, инкубировали анаэробно при 37°C в течение 24 ч. После инкубирования лактобактерии дважды отмывали центрифугированием 4000 g в течение 2 мин в 0,9%-м растворе хлорида натрия (pH 7,2). Отмытые бактериальные клетки ресуспендировали в физиологическом растворе до получения концентрации $1{,}5 \cdot 10^9$ КОЕ/мл (McFarland 5 Ед).

Для приготовления эритроцитарной взвеси у здорового добровольца была взята венозная кровь (I (0) Rh+) и помещена в вакуумную пробирку UNIVAC, содержащую 10,8 мг К3ЭДТА. Полученную свежую кровь трехкратно отмывали путем центрифугирования в физиологическом растворе (pH 7,2) в течение 2 мин 4000 g. После получения чистой эритроцитарной взвеси готовили 1%-ю суспензию эритроцитов в 0,9% NaCl ($1 \cdot 10^8$ кл/мл).

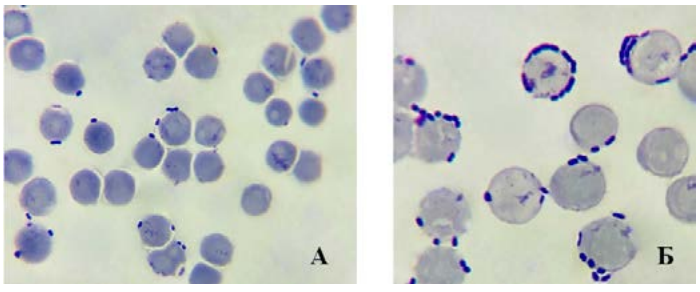


Рисунок. **Мазок крови, окрашенный по Романовскому–Гимзе: А – штамм L2, Б – штамм L3.**
Figure. ***Blood smear stained according to Romanovsky–Giemsa: A – strain L2, B – strain L3.***

Далее в стерильные 96-луночные планшеты вносили по 0,5 мл микробной взвеси и 1%-й суспензии эритроцитов, тщательно перемешивали и инкубировали при 37°C 30 мин. В качестве контроля использовали чистую эритроцитарную суспензию (0,5 мл) и бактериальную взвесь (0,5 мл) производственного штамма *Lactobacillus acidophilus* n.v. Ep 317/402, полученного из препарата «Наринэ».

В дальнейшем методику Брилиса модифицировали. После инкубирования готовили тонкие мазки на обезжиренном предметном стекле, высушивали на воздухе, фиксировали смесью Никифорова, окрашивали по Романовскому–Гимзе в течение 40 мин (по 3 мазка на 1 штамм), полученные окрашенные мазки исследовали в иммерсионной системе микроскопа (×100). В каждом из трех окрашенных мазков произвольным образом исследовали по 50 клеток эритроцитов, подсчитывая количество прикрепленных к ним клеток бактерий (рисунок).

Рассчитывали индекс адгезии по Брилису (общее количество прикрепленных бактерий / 50 эритроцитов), процент адгезированных эритроцитов (число эритроцитов с ≥1 бактерией / 50) × 100)), среднее количество бактерий на 1 адгезированный эритроцит и средний показатель адгезии (СПА).

Статистическую обработку данных проводили при помощи однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием библиотеки SciPy в Python, достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

Идентификация выделенных из ротовой полости *Lactobacillus* spp. выявила принадлежность оральных лактобактерий к 4 видам: *L. fermentum* (изоляты L3, L7), *L. rhamnosus* (изоляты L2, L4, L6, L8), *L. reuteri* (изоляты L1, L5, L10, L11), *Apilactobacillus apinorum* (изолят L9).

Результаты исследования адгезии бактерий к эритроцитам представлены в табл. 1.

Исходя из данных табл. 1, значения СПА варьируют от 1,36 ± 0,09 [1,19–1,53] (штамм L1) до 3,94 ± 0,16 [3,64–4,24] (штамм L7), что соответствует диапазону от очень низкой до средней степени адгезии по Брилису. Среднее значение СПА всей выборки составило 2,47 ± 0,97, коэффициент вариации – 39,2%, что свидетельствует о высокой гетерогенности адгезивных свойств. По значению среднего показателя адгезии удалось сформировать три статистически достоверно различающиеся группы (однофакторный дисперсионный анализ: $F = 51{,}8$; $p < 0{,}001$): со средней адгезией (СПА 171,2 ± 8,4 [162,3–180,0]; $n = 2$); с низкой адгезией (СПА 62,8 ± 5,2 [59,5–66,1]; $n = 4$); с очень низкой адгезией (СПА 29,9 ± 7,4 [25,8–34,0]; $n = 5$) (табл. 2).

Полученные результаты свидетельствуют в пользу выраженного полиморфизма адгезивных свойств оральных лактобактерий в зависимости от видовой принадлежности. Штаммы L3 и L7, обладающие самой высокой адгезией среди исследуемых и практически полным охватом эритро-

Таблица 1. **Показатели адгезивной активности оральных штаммов лактобактерий к эритроцитам человека *in vitro* (*n* = 150 эритроцитов на каждый штамм, показатели за 3 мазка крови на 1 штамм)**
Table 1. ***Indicators of adhesive activity of oral lactobacilli strains to human erythrocytes in vitro (n = 150 erythrocytes for each strain, indicators for 3 blood smears per 1 strain)***

Изолят / *Isolate*	M ± SD [ДИ]	A ± SD [ДИ], %	T ± SD [ДИ]	СПА ± SD [ДИ]	ИА ± SD [ДИ]
L1	8,3 ± 0,6 [7,4–9,2]	16,7 ± 1,2 [14,4–19,0]	11 ± 1,2 [9,0–13,6]	1,36 ± 0,09 [1,19–1,53]	0,23 ± 0,04 [0,15–0,31]
L2	34,7 ± 1,5 [32,1–37,3]	69,3 ± 3,1 [64,3–74,3]	65,7 ± 4,0 [59,3–72,1]	1,89 ± 0,08 [1,76–2,02]	1,31 ± 0,10 [1,13–1,49]
L3	49,7 ± 0,6 [48,8–50,6]	99,3 ± 1,2 [96,9–101,7]	174,3 ± 6,1 (164,4–184,2]	3,51 ± 0,11 [3,29–3,73]	3,48 ± 0,14 [3,16–3,80]
L4	20,3 ± 1,5 [17,7–23,0]	40,7 ± 3,1 [35,7–45,7]	57,7 ± 3,5 [52,1–63,3]	2,84 ± 0,13 [2,59–3,09]	1,16 ± 0,10 [1,00–1,32]
L5	19,0 ± 1,0 [17,2–20,8]	38,0 ± 2,0 [34,4–41,6]	43,7 ± 3,1 [38,7–48,7]	2,30 ± 0,12 [2,07–2,53]	0,87 ± 0,08 [0,73–1,01]
L6	26,7 ± 1,5 [24,1–29,3]	53,3 ± 3,1 [48,3–58,3]	61,3 ± 3,5 [55,7–66,9]	2,30 ± 0,10 [2,12–2,48]	1,23 ± 0,09 [1,08–1,38]
L7	42,7 ± 1,5 [40,1–45,3]	85,3 ± 3,1 [80,3–90,3]	168,0 ± 7,0 [155,5–180,5]	3,94 ± 0,16 [3,64–4,24]	3,36 ± 0,19 [3,02–3,70]
L8	23,7 ± 1,5 [21,1–26,3]	47,3 ± 3,1 [42,3–52,3]	66,3 ± 4,0 [59,9–72,7]	2,80 ± 0,12 [2,57–3,03]	1,32 ± 0,11 [1,12–1,52]
L9	23,7 ± 1,2 [21,4–26,0]	47,3 ± 2,3 [43,4–51,2]	38,0 ± 2,6 [33,8–42,2]	1,60 ± 0,09 [1,43–1,77]	0,76 ± 0,07 [0,64–0,88]
L10	16,0 ± 1,0 [14,2–17,8]	32,0 ± 2,0 [28,4–35,6]	25,3 ± 2,1 [21,5–29,1]	1,58 ± 0,10 [1,40–1,76]	0,51 ± 0,06 [0,41–0,61]
L11	21,0 ± 1,0 [19,2–22,8]	42,0 ± 2,0 [38,4–45,6]	31,0 ± 2,6 [26,8–35,2]	1,48 ± 0,09 [1,31–1,65]	0,62 ± 0,07 [0,50–0,74]

M – среднее число эритроцитов с адгезированными бактериями на 1 мазок; SD – стандартное отклонение; ДИ – доверительный интервал; A – % эритроцитов с адгезированными бактериями; T – общее число адгезированных бактерий; СПА – средний показатель адгезии; ИА – индекс адгезии.
M is the average number of erythrocytes with adhered bacteria per smear; SD is the standard deviation; ДИ is the confidence interval; A is the % of erythrocytes with adhered bacteria; T is the total number of adhered bacteria; СПА – the average adhesion index; IA is the adhesion index.

Таблица 2. **Разделение штаммов на группы по адгезивной активности**
Table 2. ***Division of strains into groups according to adhesive activity***

Группа / *Group*	Штаммы / *Strains*	M ± SD [ДИ]	СПА ± SD [ДИ]	A ± SD [ДИ], %	ИА ± SD [ДИ]
Средняя адгезия / *Medium adhesion*	L3, L7	171,2 ± 8,4 [162,3–180,0]	3,72 ± 0,20 [3,52–3,92]	92,3 ± 4,5 [87,6–97,0]	3,42 ± 0,24 [3,18–3,66]
Низкая адгезия / *Low adhesion*	L2, L4, L6, L8	62,8 ± 5,2 [59,5–66,1]	2,45 ± 0,22 [2,32–2,58]	52,7 ± 5,6 [49,1–56,3]	1,30 ± 0,14 [1,21–1,39]
Очень низкая адгезия / *Very low adhesion*	L1, L5, L9, L10, L11	29,9 ± 7,4 [25,8–34,0]	1,68 ± 0,23 [1,55–1,81]	33,6 ± 6,3 [30,1–37,1]	0,62 ± 0,12 [0.56–0,68]

цитов, соответствуют виду *L. fermentum*, доминирующему среди высокоадгезивных оральных лактобактерий. Высокая плотность колонизации (до 6–7 микробных клеток на эритроцит) указывает на наличие адгезинов (S-слой, пили типа I и II, муцин-связывающие белки), обеспечивающих прочное прикрепление. Такие свойства крайне желательны для оральных пробиотиков, поскольку могут обеспечивать быстрое формирование биопленки и конкурентное вытеснение *S. mutans* и пародонтопатогенов.

Штамм L2, отнесенный к группе с низкой адгезией (СПА 1,89 ± 0,08 [1,76–2,02]), демонстрирует самый высокий процент адгезии (69,3 ± 3,1 [64,3–74,3]) среди штаммов в своей группе, что характерно для пилус-содержащих штаммов *L. rhamnosus* [9, 10]. Такой фенотип прикрепления выгодно дополняет высокоадгезивные штаммы в комбинированных пробиотических препаратах, обеспечивая быстрое покрытие больших площадей слизистой оболочки рта [6].

Штаммы с очень низкой активностью (L1, L5, L9, L10, L11) относятся к видам *L. reuteri* и *Apilactobacillus apinorum*, для которых характерна слабая способность к длительной персистенции в ротовой полости [5].

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о достаточно высокой адгезивной способности лактобацилл ротовой полости. Штаммы *L. fermentum* (L3, L7) обладают наибольшей адгезивной способностью среди изученных, что указывает на возможность их дальнейшего использования в разработке оральных пробиотических препаратов.

Источники финансирования

Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

Funding

No funding was received for conducting this study and preparing the manuscript for publication.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими организациями), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Conflict of interest

The authors have no relationships, activities, or interests with third parties (commercial or non-commercial organizations) to declare that could have influenced the work reported in this paper in the last three years.

Вклад авторов

Пономарева А.А. – проведение эксперимента, написание текста статьи, сбор, анализ и визуализация данных; Харина Е.И. – разработка идеи исследования, поиск путей для реализации, предоставление ресурсов; Морозова А.А. – проведение эксперимента, разработка методологии иссле-

дования, сбор данных; Тимченко Л.Д. – научное руководство, анализ и поиск литературных данных, внесение правок в текст статьи; Гандрабурова Н.И. – внесение правок, анализ данных, оформление сопроводительных документов; Пенькова Н.И. – внесение правок, анализ и статистическая обработка данных; Сизоненко М.Н. – внесение правок, статистическая обработка данных.

Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты настоящей работы, гарантируют надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Author contributions

Ponomareva A.A. – conducting the experiment, drafting the article, collecting, analysing and visualising the data; Kharina E.I. – developing the research concept, identifying ways to implement it, and providing resources; Morozova A.A. – conducting the experiment, developing the research methodology, collecting data; Timchenko L.D. – scientific guidance, analysing and searching for literature, editing the article; Gandraburova N.I.– editing, data analysis, preparation of supporting documents; Penkova N.I. – editing, analysis and statistical processing of data; Sizonenko M.N.– making amendments, statistical analysis of data.

All authors have read and approved the final manuscript and agree to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Генеративный искусственный интеллект

При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Generative artificial intelligence

No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this article.

Литература

1. Копецкий ИС, Побожьева ЛВ, Копецкая АИ, Шевелюк ЮВ. Микробиом полости рта. Российский медицинский журнал. 2021;27(4):365-372. DOI: 10.17816/0869-2106-2021-27-4-365-372
2. Hou K, Wu ZX, Chen XY, Wang JQ, Zhang D, Xiao C, et al. Microbiota in health and diseases. Signal Transduct Target Ther. 2022 Apr 23;7(1):135. DOI: 10.1038/s41392-022-00974-4
3. Червинец ЮВ, Червинец ВМ, Миронов АЮ, Ботина СГ, Гагарина ЕЮ, Самоукина АМ, и др. Индигенные лактобациллы полости рта человека – кандидаты в пробиотические штаммы. Человек и его здоровье. 2012;1:131-137.
4. Усенко ДВ, Горелов АВ. Пробиотики и пробиотические продукты: возможности и перспективы применения. Вопросы современной педиатрии. 2004;2:50-54.
5. Piwat S, Sophatha B, Teanpaisan R. An assessment of adhesion, aggregation and surface charges of *Lactobacillus* strains derived from the human oral cavity. Lett Appl Microbiol. 2015 Jul;61(1):98-105. DOI: 10.1111/lam.12434
6. MacKenzie DA, Jeffers F, Parker ML, Vibert-Vallet A, Bongaerts RJ, Roos S, et al. Strain-specific diversity of mucus-binding proteins in the adhesion and aggregation properties of *Lactobacillus reuteri*. Microbiology (Reading). 2010 Nov;156(Pt 11):3368-3378. DOI: 10.1099/mic.0.043265-0
7. Брилис ВИ, Брилени ТА, Ленцнер ХП, Ленцнер АА. Методика изучения адгезивного процесса микроорганизмов. Лабораторное дело. 1986;4:210-213.
8. Техника сбора и транспортирования биоматериалов в микробиологические лаборатории: Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006.
9. Kankainen M, Paulin L, Tynkkynen S, von Ossowski I, Reunanen J, Partanen P, et al. Comparative genomic analysis of *Lactobacillus rhamnosus* GG reveals pili containing a human-mucus binding protein. Proc Natl Acad Sci U S A. 2009 Oct 6;106(40):17193-8. DOI: 10.1073/pnas.0908876106
10. Segers ME, Lebeer S. Towards a better understanding of *Lactobacillus rhamnosus* GG-host interactions. Microb Cell Fact. 2014 Aug 29;13 Suppl 1(Suppl 1):S7. DOI: 10.1186/1475-2859-13-S1-S7

References

1. Kopetsky IS, Pobozhieva LV, Kopetskaya AI, Shevelyuk JV. Oral microbiome. Russian Medicine. 2021;27(4):365-372. DOI: 10.17816/0869-2106-2021-27-4-365-372 (In Russian).
2. Hou K, Wu ZX, Chen XY, Wang JQ, Zhang D, Xiao C, et al. Microbiota in health and diseases. Signal Transduct Target Ther. 2022 Apr 23;7(1):135. DOI: 10.1038/s41392-022-00974-4
3. Chervinets YuK, Chervinets BM, Mironov AYu, Botina SG, Gagarina EYu, Samoukina AM, et al. The resident *Lactobacillus* from human oral cavity – candidates for probiotic strains. Kursk Scientific and Practical Bulletin "Man and His Health". 2012;1:131-137. (In Russian).
4. Usenko DV, Gorelov AV. Use of probiotics and probiotic products: possibilities and prospects Current Pediatrics. 2004;3(2):50-54. (In Russian).
5. Piwat S, Sophatha B, Teanpaisan R. An assessment of adhesion, aggregation and surface charges of *Lactobacillus* strains derived from the human oral cavity. Lett Appl Microbiol. 2015 Jul;61(1):98-105. DOI: 10.1111/lam.12434
6. MacKenzie DA, Jeffers F, Parker ML, Vibert-Vallet A, Bongaerts RJ, Roos S, et al. Strain-specific diversity of mucus-binding proteins in the adhesion and aggregation properties of *Lactobacillus reuteri*. Microbiology (Reading). 2010 Nov;156(Pt 11):3368-3378. DOI: 10.1099/mic.0.043265-0
7. Brilis VI, Brilene TA, Lencner HP, Lencner AA. Study techniques of adhesive process of microorganisms. Laboratornoe delo. 1986;4:210-212. (In Russian).
8. Technique for collecting and transporting biomaterials to microbiological laboratories: Methodological guidelines. M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2006. (In Russian).
9. Kankainen M, Paulin L, Tynkkynen S, von Ossowski I, Reunanen J, Partanen P, et al. Comparative genomic analysis of *Lactobacillus rhamnosus* GG reveals pili containing a human-mucus binding protein. Proc Natl Acad Sci U S A. 2009 Oct 6;106(40):17193-8. DOI: 10.1073/pnas.0908876106
10. Segers ME, Lebeer S. Towards a better understanding of *Lactobacillus rhamnosus* GG-host interactions. Microb Cell Fact. 2014 Aug 29;13 Suppl 1(Suppl 1):S7. DOI: 10.1186/1475-2859-13-S1-S7

Информация о соавторах:

Харина Елена Ивановна, кандидат биологических наук, доцент кафедры базовой микробиологии Северо-Кавказского федерального университета

Морозова Ангелина Алексеевна, студентка 4-го курса Северо-Кавказского федерального университета

Тимченко Людмила Дмитриевна, доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник межкафедральной научно-образовательной лаборатории экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии медико-биологического факультета Северо-Кавказского федерального университета

Пенькова Надежда Ивановна, кандидат биологических наук, доцент, учебно-лабораторный комплекс общей биологии, медико-биологический факультет Северо-Кавказского федерального университета

Гандрабурова Надежда Ивановна, кандидат биологических наук, доцент кафедры базовой микробиологии Северо-Кавказского федерального университета

Сизоненко Марина Николаевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник межкафедральной научно-образовательной лаборатории экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии медико-биологического факультета Северо-Кавказского федерального университета

Information about co-authors:

Elena I. Kharina, PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Basic Microbiology, North Caucasus Federal University

Angelina A. Morozova, 4th year student, North Caucasus Federal University

Lyudmila D. Timchenko, PhD, DSc in Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher at the Interdepartmental Scientific and Educational Laboratory of Experimental Immunomorphology, Immunopathology and Immunobiotechnology, Faculty of Medicine and Biology, North Caucasus Federal University

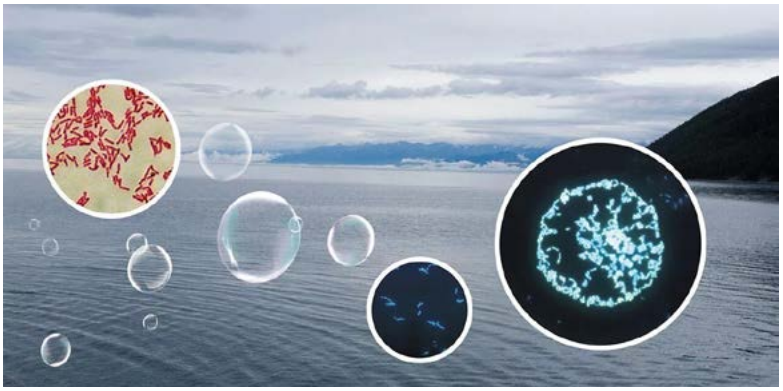
Nadezhda I. Penkova, PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Educational and Laboratory Complex of General Biology, Faculty of Medical Biology, North Caucasus Federal University

Nadezhda I. Gandraburova, PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Basic Microbiology, North Caucasus Federal University

Marina N. Sizonenko, PhD in Biological Sciences, Leading Researcher at the Interdepartmental Scientific and Educational Laboratory of Experimental Immunomorphology, Immunopathology and Immunobiotechnology, Faculty of Medical and Biological Sciences, North Caucasus Federal University

НОВОСТИ НАУКИ

Некоторые озерные бактерии выживают за счет того, что отсекают половину своего генома



Бактерии охватывают экосистемы Земли, сочетая в себе экологическую универсальность с архитектурной реконфигурацией генома в условиях меняющихся физико-химических параметров. Тем не менее пути изменения геномов, по которым свободноживущие линии пересекают границы экосистем, и последствия для структуры генома остаются малоизученными. Ученые использовали сравнительную и эволюционную геномику для исследования перехода из почвы в осадок и пресную воду у *Limnocylindria* – распространенной клады внутри типа *Chloroflexota*. Две родственные семьи демонстрируют противоположные стратегии: CSP1-4 расширяет геномы за счет приобретения специфических нишевых генов, тогда как *Limnocylindraceae* подвергается сокращению генома и упрощению метаболизма – что выявляет альтернативные эволюционные пути к схожим экологическим результатам. В семействе *Limnocylindraceae* потеря ключевых ДНК-гликозилаз совпадает с деградацией системы эксцизионного восстановления оснований и соответствует состоянию гипермутатора, который мог ускорить эрозию генома в процессе специализации к пресной воде, потенциально способствуя экологическому расширению. Эта траектория сокращения генома связана с линией, адаптированной к пресной воде, с неожиданно высоким содержанием ГЦ-пар, что ставит под сомнение канонические связи между составом оснований и размером генома. В то время как мутационные процессы, по всей видимости, доминируют в реструктуризации генома, паттерны на уровне протеома указывают на отбор в пользу эффективного использования аминокислот с точки зрения потребления углерода и азота, что подразумевает возможность возникновения адаптивной оптимизации параллельно с преимущественно неадаптивными динамическими процессами. В целом наши результаты согласуются с тем, что мутационно-обусловленное сокращение генома и оптимизация протеома действуют согласованно, обеспечивая пересечение границ экосистем и специализацию к пресной воде у свободноживущей линии *Chloroflexota*.

Serra Moncadas L, Shakurova A, Hofer C, Andrei AS.
Deep-branching Chloroflexota lineages illuminate the eco-evolutionary foundation of cross-ecosystem colonization.
Nat Commun. 2026 Apr 1;17(1):4696. DOI: 10.1038/s41467-026-71228-y