

ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ *IN VITRO* АНТАГОНИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗОЛЯТОВ *LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM*, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ КИШЕЧНИКА ЗДОРОВЫХ ПОДРОСТКОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Горкавенко А.С.,
Колобов М.Д.,
Зугеева Р.Е.,
Белькова Н.Л.,
Семёнова Н.В.,
Рычкова Л.В.

ФГБНУ «Научный центр проблем
здоровья семьи и репродукции
человека» (664003, г. Иркутск,
ул. Тимирязева, 16, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Горкавенко Анна Сергеевна,
e-mail: annapend@yandex.ru

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Растущая антибиотикорезистентность, осложняющая лечение дисбиоза кишечника и связанных с ним заболеваний, делает разработку пробиотиков для коррекции микробиоты все более актуальной. *Lactiplantibacillus plantarum* проявляет пробиотический потенциал, обусловленный его антагонистической активностью. Учитывая штаммоспецифичность этого свойства, изучение локальных изолятов *L. plantarum* необходимо для создания новых, более эффективных пробиотических препаратов.

Цель работы. Оценка *in vitro* антагонистических свойств пяти изолятов *L. plantarum*, выделенных из кишечника здоровых подростков Иркутской области, в отношении полирезистентных изолятов условно-патогенных бактерий и *Escherichia coli*.

Материалы и методы. В работе использовали пять изолятов *L. plantarum* 43p, 45p, 46p, 52p и 57p; 25 полирезистентных изолятов условно-патогенных бактерий, представляющих виды *Enterobacter hormaechei*, *E. cloacae*, *Klebsiella pneumoniae*, *K. oxytoca*, *K. variicola*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Citrobacter amalonaticus*; и 23 изолята *E. coli* с различными характеристиками. Антагонистическую активность оценивали методами перпендикулярных штрихов и лунок.

Результаты. Выявлены значимые различия в антагонистической активности между изолятами *L. plantarum* и методами тестирования. Метод перпендикулярных штрихов показал более высокую активность, при этом изоляты 43p, 45p и 46p проявили себя как более эффективные антагонисты по сравнению с 52p и 57p (статистически значимо, $p < 0,05$), вне зависимости от метода. Высокая активность изолятов *L. plantarum* 43p, 45p и 46p наблюдалась в отношении изолятов *P. aeruginosa*.

Заключение. Данное пилотное исследование подтвердило штаммоспецифичный антагонистический потенциал *L. plantarum* в отношении полирезистентных изолятов условно-патогенных бактерий и *E. coli*, выявив изоляты *L. plantarum* 43p, 45p и 46p как наиболее перспективные. Результаты обосновывают необходимость дальнейшего скрининга изолятов *L. plantarum* и других видов лактобацилл, культивируемых из нормобиоты здоровых подростков Иркутской области, и изучения механизмов антагонизма для разработки новых эффективных пробиотиков на основе местных изолятов.

Ключевые слова: микробиота, здоровые подростки, пробиотики, *Lactiplantibacillus plantarum*, антагонистическая активность, условно-патогенные бактерии, полирезистентные изоляты

Статья поступила: 03.07.2025
Статья принята: 14.08.2025
Статья опубликована: 24.09.2025

Для цитирования: Горкавенко А.С., Колобов М.Д., Зугеева Р.Е., Белькова Н.Л., Семёнова Н.В., Рычкова Л.В. Пилотное исследование *in vitro* антагонистических свойств изолятов *Lactiplantibacillus plantarum*, выделенных из кишечника здоровых подростков Иркутской области. *Acta biomedica scientifica*. 2025; 10(4): 113-120. doi: 10.29413/ABS.2025-10.4.11

A PILOT IN VITRO STUDY OF THE ANTAGONISTIC PROPERTIES OF LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM ISOLATES DERIVED FROM THE INTESTINES OF HEALTHY ADOLESCENTS IN THE IRKUTSK REGION

**Gorkavenko A.S.,
Kolobov M.D,
Zugeeva R.E.,
Belkova N.L.,
Semenova N.V.,
Rychkova L.V.**

Scientific Centre for Family Health
and Human Reproduction Problems
(Timiryazev str., 16, Irkutsk 664003,
Russian Federation)

Corresponding author:
Anna S. Gorkavenko,
e-mail: annapend@yandex.ru

RESUME

Background. The growing antibiotic resistance, complicating the treatment of intestinal dysbiosis and related diseases, makes the development of probiotics for microbiota correction increasingly relevant. *Lactiplantibacillus plantarum* exhibits probiotic potential due to its antagonistic activity. Considering the strain-specific nature of this property, studying local isolates of *L. plantarum* is necessary for creating new, more effective probiotic preparations.

The aim. To evaluate the *in vitro* antagonistic properties of five isolates of *L. plantarum* isolated from the intestines of healthy adolescents in the Irkutsk region against multidrug-resistant isolates of opportunistic bacteria and *Escherichia coli*.

Materials and methods. Five isolates of *L. plantarum* 43p, 45p, 46p, 52p, and 57p were used; 25 multidrug-resistant isolates of opportunistic bacteria representing the species *Enterobacter hormaechei*, *E. cloacae*, *Klebsiella pneumoniae*, *K. oxytoca*, *K. variicola*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Citrobacter amalonaticus*; and 23 isolates of *E. coli* with different characteristics. Antagonistic activity was evaluated by methods of perpendicular strokes and the well diffusion method.

Results. *L. plantarum* isolates showed statistically significant variations in antagonistic activity, and these variations were also dependent on the testing method. A lot more activity was seen with the perpendicular strokes method. Statistically significant differences ($p < 0.05$) indicated that isolates 43p, 45p, and 46p were more effective antagonists than 52p and 57p, irrespective of the method. A marked antagonistic effect of *L. plantarum* isolates 43p, 45p, and 46p was observed against *P. aeruginosa*.

Conclusion. This pilot study confirmed the strain-specific antagonistic potential of *L. plantarum* against multidrug-resistant opportunistic bacteria and *E. coli*, identifying *L. plantarum* isolates 43p, 45p, and 46p as the most promising candidates. These findings support the need for further screening of *L. plantarum* isolates, as well as other *Lactobacillus* species, cultured from the normal microbiota of healthy adolescents in the Irkutsk region. Furthermore, investigation of the mechanisms of antagonism is warranted to develop novel, effective probiotics based on local isolates.

Key words: microbiota, healthy adolescents, probiotics, *Lactiplantibacillus plantarum*, antagonistic activity, opportunistic bacteria, multidrug-resistant isolates

Received: 03.07.2025
Accepted: 14.08.2025
Published: 24.09.2025

For citation: Gorkavenko A.S., Kolobov M.D, Zugeeva R.E., Belkova N.L., Semenova N.V., Rychkova L.V. A pilot *in vitro* study of the antagonistic properties of *Lactiplantibacillus plantarum* isolates derived from the intestines of healthy adolescents in the Irkutsk region. *Acta biomedica scientifica*. 2025; 10(4): 113-120. doi: 10.29413/ABS.2025-10.4.11

ОБОСНОВАНИЕ

Нарушение баланса микробиоты кишечника (дисбиоз) признано фактором, способствующим развитию различных заболеваний, включая воспалительные заболевания кишечника, метаболический синдром, аллергии и даже психические расстройства [1, 2]. Особую обеспокоенность вызывает рост числа штаммов условно-патогенных микроорганизмов (УПМ), обладающих множественной устойчивостью к антибиотикам, что значительно затрудняет лечение инфекций [3]. В связи с этим, пробиотические микроорганизмы, способные оказывать положительное воздействие на здоровье хозяина путем модуляции кишечной микробиоты, привлекают все большее внимание [4]. Изучение антагонистических свойств пробиотических штаммов против резистентных УПМ является особенно актуальным.

Важной группой микроорганизмов, широко применяемых в промышленности, биотехнологии и медицине благодаря своим технологическим и пробиотическим свойствам, являются бактерии рода *Lactobacillus*. Их способность подавлять рост нежелательных микроорганизмов, обусловленная конкуренцией за питательные вещества, продукцией антимикробных соединений (бактериоцинов, органических кислот, перекиси водорода) или стимуляцией иммунного ответа хозяина, лежит в основе их пробиотического действия [5]. *Lactiplantibacillus plantarum* является одним из наиболее изученных видов пробиотических бактерий, обладающих широким спектром полезных свойств, включая способность выживать в желудочно-кишечном тракте, оказывать иммуномодулирующее действие и подавлять рост патогенных микроорганизмов [6, 7].

Состав микробиоты кишечника и характеристики выделяемых пробиотических штаммов подвержены значительной вариабельности, обусловленной факторами окружающей среды, включая географическое положение, образ жизни, этническую принадлежность, место проживания (город/деревня), социально-экономический статус и другие [8]. Антагонистическая активность *Lactobacillus* демонстрирует выраженную штаммоспецифичность, определяемую как генетической изменчивостью штаммов, так и влиянием факторов окружающей среды. Изоляты, выделенные из кишечника здоровых подростков, проживающих в различных регионах, представляют интерес в качестве перспективных пробиотических штаммов, чьи уникальные биологические свойства сформированы под воздействием региональных экологических факторов и могут быть использованы при разработке новых пробиотических препаратов.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка *in vitro* антагонистических свойств пяти изолятов *L. plantarum*, выделенных из кишечника

здоровых подростков Иркутской области, в отношении полирезистентных изолятов условно-патогенных бактерий и *Escherichia coli*.

МЕТОДЫ

Объекты исследования

В работе использовали пять изолятов лактобацилл вида *Lactiplantibacillus plantarum*: *L. plantarum* 43p, *L. plantarum* 45p, *L. plantarum* 46p, *L. plantarum* 52p и *L. plantarum* 57p, которые были выделены ранее из кишечника здоровых подростков Иркутской области.

В качестве тест-культур при тестировании антагонистической активности использовали изоляты УПМ с множественной антибиотикорезистентностью, входящие в «Коллекцию микробиоты человека Иркутской области» ФГБНУ НЦ ПЗСРЧ [9]. Для оценки влияния изолятов *L. plantarum* на нормобиоту кишечника, были использованы следующие штаммы *E. coli*: комменсальные штаммы *E. coli* НФА (с нормальной ферментативной активностью, не обладающие выраженными факторами вирулентности); атипичные комменсальные штаммы *E. coli* СФА (со слабой ферментативной активностью) и потенциально патогенные штаммы *E. coli* ГА (с гемолитической активностью, обладающие фактором вирулентности – гемолизином). Видовой состав тест-культур бактерий представлен в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1
ВИДОВОЙ СОСТАВ ТЕСТ-КУЛЬТУР БАКТЕРИЙ

TABLE 1
SPECIES COMPOSITION OF BACTERIAL TEST CULTURES

Вид микроорганизма	Количество изолятов, абс.
<i>Escherichia coli</i> НФА	13
<i>Escherichia coli</i> ГА	6
<i>Escherichia coli</i> СФА	4
Условно-патогенные бактерии с множественной устойчивостью к антимикробным препаратам	
<i>Enterobacter hormaechei</i>	1
<i>Enterobacter cloacae</i>	3
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	5
<i>Klebsiella oxytoca</i>	3
<i>Klebsiella variicola</i>	1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10
<i>Staphylococcus aureus</i>	1
<i>Citrobacter amalonaticus</i>	1

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все изоляты *L. plantarum* хранились в виде замороженных культур в глицерине (30 % v/v) при -80°C . Перед проведением экспериментов изоляты *L. plantarum* восстанавливали путем культивирования в MRS-бульоне (HiMedia Laboratories, Индия) при 37°C в течение 24 часов.

Антагонистическую активность изолятов *L. plantarum* исследовали двумя методами: методом перпендикулярных штрихов и методом лунок [10]. Для метода лунок изоляты *L. plantarum* культивировали в среде MRS (37°C , 24 ч). Полученную суспензию (10^8 КОЕ/мл, концентрацию определяли по стандарту МакФарланда) вносили в лунки ($d = 10$ мм), сформированные в агаризованной среде Мюллера – Хинтона (HiMedia Laboratories, Индия), предварительно инокулированной сплошным газоном тест-культуры. Инкубацию проводили при 37°C в течение 48 ч. Для метода штрихов изоляты *L. plantarum* инокулировали штрихом на агаризованную Бифидум-среду (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия) и культивировали в анаэробных условиях (37°C , 48 ч). После инкубации, перпендикулярно линии роста лактобацилл осуществляли штриховой посев экспоненциальной культуры тест-штамма. Дальнейшую инкубацию проводили в аэробных условиях (37°C , 24 ч) для обеспечения роста тест-культуры.

Для каждого метода было проведено два повторных исследования. Данные по зонам задержки роста для всех изолятов данного вида/группы представлены в виде среднего арифметического диаметра зон подавления роста в мм $\pm$ стандартное отклонение. Антагонистическую активность оценивали по ширине зон задержки роста тест-культур согласно методическим указаниям: для метода перпендикулярных штрихов – 4–9 мм — слабая активность, 9–14 мм — средняя, ≥ 14 мм — высокая, для метода лунок зона ингибирования 10–15 мм — слабая, 15–20 мм — средняя, > 20 мм — сильная (диаметры с учетом лунки, ± 1 мм) [11]. Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения Past (версия 4.03) и R (версия 4.4.1). Для оценки статистической значимости различий в антагонистической активности изолятов *L. plantarum* использовался непараметрический критерий Краскела – Уоллиса, реализованный в пакете Past. Сравнение эффективности различных методов исследования осуществлялось с использованием критерия Манна – Уитни (Past). Для post-hoc анализа с целью выявления групп со статистически значимыми различиями использовался тест Данна с поправкой Бонферрони, реализованный в пакете R. Уровень статистической значимости (α) был установлен на 0,05 ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка антагонистической активности методом перпендикулярных штрихов показала, что исследованные изоляты *L. plantarum* проявляют различную

степень активности в отношении широкого спектра тест-культур бактерий (табл. 2).

При исследовании методом перпендикулярных штрихов были выявлены значительные различия как между изолятами лактобацилл, так и в зависимости от вида тест-культуры. Изолят *L. plantarum* 43р проявил достоверно высокую антагонистическую активность в отношении большинства представленных тест-культур ($p < 0,05$). Изоляты 43р, 45р и 46р продемонстрировали наиболее широкий спектр активности (средние и высокоактивные антагонисты) по сравнению с изолятами 52р и 57р (слабые антагонисты), при этом самая высокая активность наблюдалась в отношении *P. aeruginosa* ($p < 0,05$). Примеры фотографий с зонами задержки роста для наглядного сравнения активности изолятов *L. plantarum* представлены на рис. 1.

Метод лунок показал слабую активность всех изолятов (зоны ингибирования 11–15 мм). *L. plantarum* 43р, 45р и 46р проявляли несколько более высокую активность, чем 52р и 57р, однако все изоляты классифицировались, в основном, как слабые антагонисты. Максимальная активность *L. plantarum* 43р, 45р и 46р наблюдалась в отношении *P. aeruginosa* ($p < 0,05$), 45р и 46р – в отношении изолятов *E. coli* ГА и СФА. Примеры фотографий с зонами задержки роста для наглядного сравнения активности изолятов *L. plantarum* представлены на рис. 2.

Полученные нами результаты согласуются с данными других исследований, которые также показали, что *L. plantarum* обладает антагонистической активностью против широкого спектра патогенных микроорганизмов [7]. Метод перпендикулярных штрихов выявил больший диапазон и более высокую антагонистическую активность *L. plantarum* по сравнению с методом лунок. Оба метода показали высокую чувствительность *P. aeruginosa* к *L. plantarum*, что подтверждается и другими исследованиями [12, 13]. Важно отметить, что наше исследование было сосредоточено на отдельных изолятах *L. plantarum*, однако в других исследованиях было показано, что антагонистическая активность отдельных изолятов пробиотических бактерий может усиливаться в консорциуме [10, 14]. Это также позволяет предположить, что консорциумы на основе изолятов *L. plantarum* могут обладать ещё большим потенциалом для создания эффективных пробиотических препаратов с антибактериальным эффектом.

U-критерий Манна – Уитни показал значимые различия между методами оценки антагонистической активности *L. plantarum* (штрихи vs лунки: $U = 947$, $p = 0,000725$), вероятно, из-за разных механизмов взаимодействия и условий. Эти условия могут включать тип взаимодействия (например, конкуренцию за ресурсы или производство антимикробных веществ), среду проведения теста (например, питательную среду, pH, температуру), время инкубации и концентрацию бактерий, что влияет на чувствительность и точность оценки.

Предварительный анализ с использованием критерия Краскела – Уоллиса показал наличие статистически значимых различий между разными изолятами лактобацилл ($H = 81,16$, $p < 0,001$). Для определения конкретных

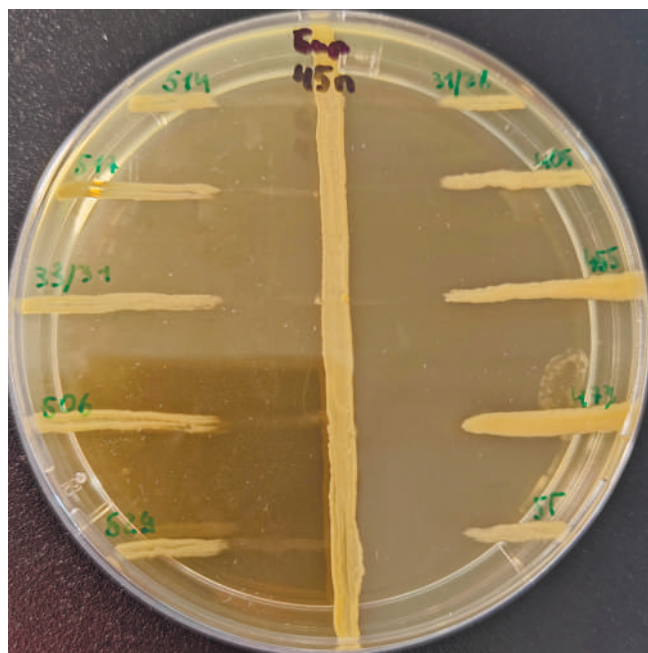


РИС. 1.

Антагонистическая активность изолятов *L. plantarum* методом перпендикулярных штрихов в отношении тест-культур бактерий. Слева – изолят *L. plantarum* 45p, справа – изолят *L. plantarum* 57p

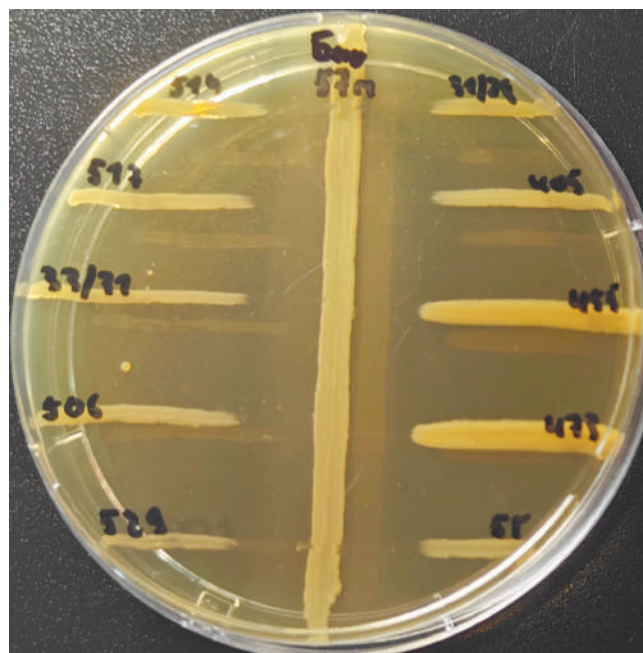


FIG. 1.

Antagonistic activity of *L. plantarum* isolates against bacterial test cultures, assessed using the perpendicular strokes method. *L. plantarum* 45p (left) and *L. plantarum* 57p (right)

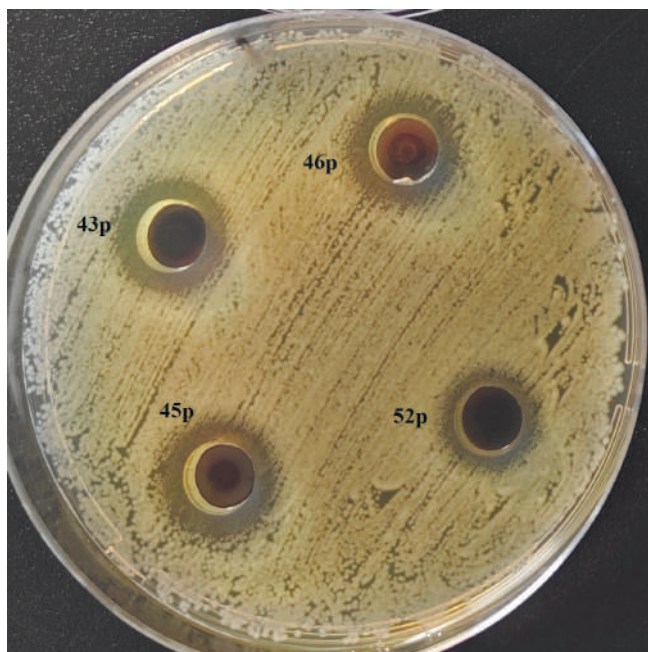


РИС. 2.

Антагонистическая активность изолятов *L. plantarum* методом лунок. Слева – в отношении *K. pneumoniae*, справа – в отношении *P. aeruginosa*

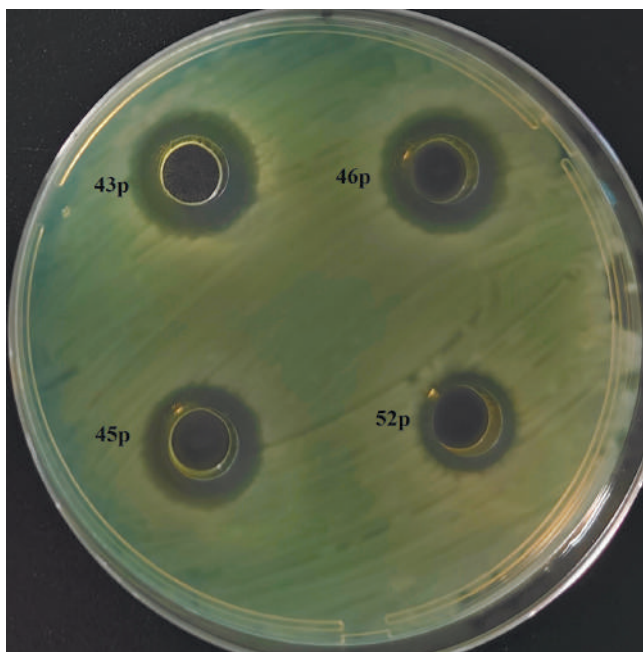


FIG. 2.

Antagonistic activity of *L. plantarum* isolates against *K. pneumoniae* and *P. aeruginosa*, as determined by the well diffusion method. *K. pneumoniae* (left) and *P. aeruginosa* (right) are shown

пар изолятов *L. plantarum*, демонстрирующих статистически значимые различия в антагонистической активности, был проведен post-hoc тест Данна с поправкой Бонферрони (табл. 3).

Post-hoc тест Данна выявил статистически значимые различия в антагонистической активности,

исследованной методом перпендикулярных штрихов, между следующими парами изолятов *L. plantarum*: 43p vs 52p, 43p vs 57p, 45p vs 52p, 45p vs 57p и 46p vs 52p. Другие попарные сравнения не выявили статистически значимых различий ($p > 0,05$). Методом лунок выявлены статистически значимые различия в антагонистической

активности между следующими парами изолятов *L. plantarum*: 43p vs 52p, 43p vs 57p, 45p vs 52p, 45p vs 57p, 46p vs 52p и 46p vs 57p. Другие попарные сравнения не выявили статистически значимых различий ($p > 0,05$). Статистический анализ подтверждает, что, несмотря на общую тенденцию к слабой/средней активности, существуют статистически значимые различия в активности между *L. plantarum* 43p, 45p, 46p и изолятами 52p и 57p. Эти результаты позволяют сделать вывод, что *L. plantarum* 43p, 45p и 46p могут обладать несколько большим потенциалом для использования в качестве антагонистов по сравнению с изолятами 52p и 57p.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее пилотное исследование выявило штаммоспецифические различия в антагонистической активности пяти изолятов *L. plantarum* (43p, 45p, 46p, 52p, 57p) против широкого спектра условно-патогенных бактерий с множественной антибиотикорезистентностью. Статистически значимые различия между изолятами и вариации в размерах зон ингибирования подтверждают, что антагонистический потенциал *L. plantarum* носит штаммоспецифичный характер. *L. plantarum* 43p, 45p и 46p обладают несколько большим потенциалом

ТАБЛИЦА 2

АНТАГОНИСТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ИЗОЛЯТОВ
L. PLANTARUM

TABLE 2

ANTAGONISTIC ACTIVITY OF *L. PLANTARUM* ISOLATES

	Зоны задержки роста ($M \pm m$), мм				
	<i>L. plantarum</i> 43p	<i>L. plantarum</i> 45p	<i>L. plantarum</i> 46p	<i>L. plantarum</i> 52p	<i>L. plantarum</i> 57p
Метод перпендикулярных штрихов					
<i>E. hormaechei</i>	13,5±0,7	13,0±0,0	10,5±0,7	5,0±0,0	7,5±3,5
<i>E. cloacae</i>	13,3±0,5	12,8±1,2	11,3±0,9	6,2±0,2	7,8±3,5
<i>K. pneumoniae</i>	14,8±0,3*	12,6±1,1	11,0±0,0	5,4±0,0	7,2±3,1
<i>K. oxytoca</i>	13,2±1,2	12,8±0,2	10,7±0,9	5,3±0,0	6,3±3,3
<i>K. variicola</i>	14,5±0,7*	12,0±1,4	11,5±0,7	6,0±0,0	7,5±2,1
<i>P. aeruginosa</i>	17,4±0,5*	16,1±0,3*	14,8±0,5*	10,5±1,0	10,7±2,5
<i>S. aureus</i>	14,0±0,0	11,5±0,7	12,0±2,8	6,0±0,0	7,0±2,8
<i>C. amalonaticus</i>	15,5±2,1*	12,5±0,7	13,0±1,4	7,5±0,7	9,0±2,8
<i>Escherichia coli</i> НФА	14,7±0,1*	13,3±0,9	11,8±0,3	6,9±0,2	7,9±2,8
<i>Escherichia coli</i> ГА	14,8±0,1*	13,3±1,2	11,8±0,6	7,3±0,1	8,6±1,8
<i>Escherichia coli</i> СФА	15,3±0,7*	13,5±0,7	12,1±0,5	7,1±0,2	8,4±1,2
Метод лунок					
<i>E. hormaechei</i>	13,0±0,0	13,5±0,7	13,0±0,0	11,5±0,7	11,0±0,0
<i>E. cloacae</i>	14,0±0,0	13,8±0,2	13,7±0,0	12,3±0,0	12,5±0,2
<i>K. pneumoniae</i>	13,3±0,1	13,4±0,0	13,4±0,0	12,0±0,0	11,9±0,1
<i>K. oxytoca</i>	13,2±0,2	12,8±0,2	13,0±0,0	12,0±0,5	11,8±0,2
<i>K. variicola</i>	13,0±0,0	13,0±0,0	13,0±0,0	12,0±0,0	12,0±0,0
<i>P. aeruginosa</i>	15,1±0,1*	14,8±0,0*	14,9±0,2*	12,7±0,2	12,7±0,4
<i>S. aureus</i>	12,5±0,7	12,5±0,7	13,5±0,7	12,0±0,0	11,5±0,7
<i>C. amalonaticus</i>	13,0±0,0	12,5±0,7	13,5±0,7	11,5±0,7	11,5±0,7
<i>Escherichia coli</i> НФА	13,7±0,2	13,7±0,2	13,8±0,2	12,2±0,0	12,3±0,2
<i>Escherichia coli</i> ГА	13,8±0,4	14,2±0,5	14,3±0,5	12,9±0,1	12,8±0,4
<i>Escherichia coli</i> СФА	14,5±0,0	14,6±0,2	14,4±0,2	12,8±0,7	12,6±0,2

Примечания: метод штрихов: от 4 до 9 мм — слабые антагонисты, от 9 до 14 мм — средние, от 14 мм и более — высокоактивные; метод лунок: от 10 до 15 мм — слабые, от 15 до 20 мм — средние, от 20 мм и более — высокоактивные антагонисты; * — достоверно более сильное подавление ($p < 0,05$).

ТАБЛИЦА 3

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОПАРНЫХ РАЗЛИЧИЙ В АНТАГОНИСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ИЗОЛЯТОВ *L. PLANTARUM* (ТЕСТ ДАННА С ПОПРАВКОЙ БОНФЕРРОНИ)

TABLE 3

STATISTICAL SIGNIFICANCE OF PAIRWISE DIFFERENCES IN ANTAGONISTIC ACTIVITY OF *L. PLANTARUM* ISOLATES (DUNN'S TEST WITH BONFERRONI CORRECTION)

	<i>L. plantarum</i> 43p	<i>L. plantarum</i> 45p	<i>L. plantarum</i> 46p	<i>L. plantarum</i> 52p	<i>L. plantarum</i> 57p
<i>L. plantarum</i> 43p		$p = 1,0^{**}$	$p = 1,0^{**}$	$p = 0,0034^{**}$	$p = 0,0013^{**}$
<i>L. plantarum</i> 45p	$p = 1,0^{*}$		$p = 1,0^{**}$	$p = 0,0048^{**}$	$p = 0,0019^{**}$
<i>L. plantarum</i> 46p	$p = 0,10388^{*}$	$p = 1,0^{*}$		$p = 0,0007^{**}$	$p = 0,0002^{**}$
<i>L. plantarum</i> 52p	$p = 0,000000038^{*}$	$p = 0,000077^{*}$	$p = 0,00874^{*}$		$p = 1,0^{**}$
<i>L. plantarum</i> 57p	$p = 0,000018^{*}$	$p = 0,0079^{*}$	$p = 0,271^{*}$	$p = 1,0^{*}$	

Примечания: * – метод перпендикулярных штрихов; ** – метод лунок; $p < 0,05$.

для использования в качестве антагонистов по сравнению с изолятами 52p и 57p. Полученные результаты согласуются с данными других исследований, демонстрирующих штаммоспецифичную антагонистическую активность *L. plantarum*. Это указывают на перспективность дальнейших исследований, направленных на расширение выборки изучаемых изолятов *L. plantarum* с целью выявления новых, более эффективных антагонистов. Кроме того, представляет интерес исследование механизмов, обуславливающих антагонистическую активность штаммов различных видов лактобацилл, культивируемых из нормобиоты здоровых подростков Иркутской области, что позволит выявить пробиотические штаммы, чьи уникальные свойства, сформированные под влиянием местных экологических факторов, можно будет использовать для создания новых пробиотических препаратов.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках государственной темы № 125011600372-4.

Работа проводилась с использованием оборудования ЦКП «Центр разработки прогрессивных персонализированных технологий здоровья» и УНУ «Коллекция микробиоты человека Иркутской области» ФГБНУ НЦ ПЗСРЧ (г. Иркутск).

Конфликт интересов

Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Sultan S, El-Mowafy M, Elgaml A, Ahmed TAE, Hassan H, Mottawea W. Metabolic Influences of Gut Microbiota Dysbiosis on Inflammatory Bowel Disease. *Front. Physiol.* 2021; 12: 715506. doi: 10.3389/fphys.2021.715506
2. Романица А.И., Немченко У.М., Погодина А.В., Григорова Е.В., Белькова Н.Л., Воропаева Н.М., и др. Ассоциации клинических проявлений функциональных ки-

шечных расстройств с характеристиками микробиоты толстой кишки у подростков: пилотное исследование. *Acta Biomedica Scientifica.* 2021; 6(6-2): 73-81. [Romanitsa AI, Nemchenko UM, Pogodina AV, Grigorova EV, Belkova NL, Voropayeva NM, et. al. Associations of clinical features of functional bowel disorders with gut microbiota characteristics in adolescents: A pilot study. *Acta Biomedica Scientifica.* 2021; 6(6-2): 73-81. (In Russ.)]. doi: 10.29413/ABS.2021-6.6-2.8

3. Charlotte SHo, et al. Antimicrobial resistance: a concise update. *The Lancet. Microbe.* 2025; 6(1): 100947. doi: 10.1016/j.lanmic.2024.07.010

4. Савинова Ю.С., Белькова Н.Л., Семёнова Н.В., Рычкова Л.В. История, современные направления и перспективы развития про- и пребиотических препаратов в России и за рубежом. *Acta biomedica scientifica.* 2022; 7(5-1): 211-227. [Savinova YuS, Belkova NL, Semenova NV, Rychkova LV. History, modern trends, and prospects for the development of pro- and prebiotic drugs in Russia and abroad. *Acta biomedica scientifica.* 2022; 7(5-1): 211-227. (In Russ.)]. doi: 10.29413/ABS.2022-7.5-1.23

5. Heczko PB, Giemza M, Ponikiewska W, Strus M. Importance of Lactobacilli for Human Health. *Microorganisms.* 2024; 12(12): 2382. doi: 10.3390/microorganisms12122382

6. Chatsirisakul O, Leenabanchong N, Siripaopradit Y, Chang CW, Buhngamongkol P, Pongpirul K. Strain-Specific Therapeutic Potential of *Lactiplantibacillus plantarum*: a systematic scoping review. *Nutrients.* 2025; 17(7): 1165. doi: 10.3390/nu17071165

7. Metrouh R, Fares R, Mechai A, Debabza M, Menasria T. Technological properties and probiotic potential of *Lactiplantibacillus plantarum* SJ14 isolated from Algerian traditional cheese «Jben». *Journal of Food Processing and Preservation.* 2022; 46(4): e16482. doi: 10.1111/jfpp.16482

8. Агафонова Е.В. Фокус на микробиоту кишечника при возраст-ассоциированных изменениях организма. *Медицинский алфавит.* 2021; (9): 44-51. [Agafova EV. Focus on gut microbiota in age-associated body changes. *Medical alphabet.* 2021; (9): 44-51. (In Russ.)]. doi: 10.33667/2078-5631-2021-9-44-51

9. Воропаева Н.М., Немченко У.М., Ситникова К.О., Савилов Е.Д., Чемезова Н.Н., Григорова Е.В., и др. Часто-

та встречаемости штаммов с множественной антибиотикорезистентностью в структуре условно-патогенных микроорганизмов. *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(5-1): 145-153. [Voropaeva NM, Nemchenko UM, Sitnikova KO, Savilov ED, Chemezova NN, Grigorova EV, et. al. The frequency of occurrence of strains with multiple antibiotic resistance in the structure of opportunistic microorganisms. *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(5-1): 145-153. (In Russ.)]. doi: 10.29413/ABS.2022-7.5-1.16

10. Пеньдюхова А.С., Белькова Н.Л., Охотина Ю.С., Иванчиков Е.А., Щёкотова А.В., Семёнова Н.В., Рычкова Л.В. Антагонистическая активность монокультур и консорциумов лактобацилл в отношении полирезистентных изолятов условно-патогенных бактерий как скрининг их пробиотического потенциала. *Acta Biomedica Scientifica*. 2024; 9(3): 121-129. [Pendyukhova AS, Belkova NL, Okhotina YuS, Ivanchikov EA, Shchekotova AV, Semenova NV, Rychkova LV. Antagonistic activity of monocultures and consortia of lactobacilli against multidrug-resistant isolates of opportunistic bacteria as a screening of their probiotic potential. *Acta Biomedica Scientifica*. 2024; 9(3): 121-129. (In Russ.)]. doi: 10.29413/ABS.2024-9.3.12

11. Методические указания по санитарно-эпидемиологической оценке безопасности и функционального потенциала пробиотических микроорганизмов, используемых для производства пищевых продуктов: Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2011; 104.

[Methodological guidelines for the sanitary and epidemiological assessment of the safety and functional potential of probiotic microorganisms used for food production: Methodological guidelines. – М.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor. 2011; 104. (In Russ.)].

12. Surve S, Shinde DB, Kulkarni R. Isolation, characterization and comparative genomics of potentially probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* strains from Indian foods. *Sci. Rep.* 2022; 12(1): 1940. doi: 10.1038/s41598-022-05850-3

13. Liu Y, Zheng S, Cui J, Guo T, Zhang J. *Lactiplantibacillus plantarum* Y15 alleviate type 2 diabetes in mice via modulating gut microbiota and regulating NF-κB and insulin signaling pathway. *Braz. J. Microbiol.* 2022; 12: 1-11. doi: 10.1007/s42770-022-00686-5

14. Пеньдюхова А.С., Белькова Н.Л., Савинова Ю.С., Воропаева Н.М., Смурова Н.Е., Клименко Е.С., и др. Пробиотические консорциумы: структура и антагонистическая активность в отношении условно-патогенных бактерий и нормобиоты человека (на примере *Escherichia coli*) *in vitro*. *Acta biomedica scientifica*. 2023; 8(4): 20-31. [Pendyukhova AS, Belkova NL, Savinova JS, Voropaeva NM, Smurova NE, Klimenko ES, et al. Probiotic consortiums: Structure and antagonistic activity against opportunistic bacteria and human normobiota (using the example of *Escherichia coli*) *in vitro*. *Acta biomedica scientifica*. 2023; 8(4): 20-31. (In Russ.)]. doi: 10.29413/ABS.2023-8.4.3

Сведения об авторах

Горкавенко Анна Сергеевна – младший научный сотрудник лаборатории биомедицинской микрoэкологии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека»; e-mail: annapend@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0398-4598>

Колобов Максим Дмитриевич – лаборант лаборатории биомедицинской микрoэкологии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека»; e-mail: maxkolobov380@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-0485-4062>

Зугеева Раиса Евгеньевна – лаборант-исследователь лаборатории биомедицинской микрoэкологии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека»; e-mail: raya.zugeeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8522-7359>

Белькова Наталья Леонидовна – кандидат биологических наук, доцент, заведующая лабораторией микробиома и микрoэкологии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», e-mail: nlbelkova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9720-068X>

Семёнова Наталья Викторовна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории патофизиологии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека»; e-mail: natkor_84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6512-1335>

Рычкова Любовь Владимировна – доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, профессор, директор ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека»; e-mail: iphr@sbamsr.irk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0117-2563>

Information about the authors

Anna S. Gorkavenko – junior research assistant of the Laboratory of Biomedical Microecology, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems; e-mail: annapend@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0398-4598>

Maxim D. Kolobov – laboratory assistant of the Laboratory of Biomedical Microecology, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems; e-mail: maxkolobov380@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-0485-4062>

Raisa E. Zugeeva – laboratory assistant of the Laboratory of Biomedical Microecology, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems; e-mail: raya.zugeeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8522-7359>

Natalia L. Belkova – Cand. Sc. (Biol.), Associate Professor, Head of the Laboratory of Microbiome and Microecology, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems; e-mail: nlbelkova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9720-068X>

Natalya V. Semenova – Dr. Sc. (Biol.), Chief Researcher at the Laboratory of Pathophysiology, Scientific Centre of the Family Health and Human Reproduction Problems; e-mail: natkor_84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6512-1335>

Lyubov V. Rychkova – Dr. Sc. (Med.), Corresponding Member of the RAS, Professor, Director of the Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems e-mail: iphr@sbamsr.irk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0117-2563>