

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 3. С. 163-173.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 3. P. 163-173.

Научная статья
УДК 576.8.06:612.017.11/.12:615.779.9
doi:10.33284/2658-3135-107-3-163

Изучение антибиотикорезистентности выделенных штаммов пропионовокислых бактерий

Татьяна Ивановна Логвинова¹

¹Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Подольск, Россия
¹vijmikrob@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7075-544X>

Аннотация. В настоящее время широкое применение в производстве животноводческой продукции получило использование различных пробиотических препаратов, представляющих собой устойчивое сообщество физиологически совместимых полезных микроорганизмов, способствующих повышению конверсии корма, метаболических процессов и реактивности организма животных. Изучение пробиотических свойств микроорганизмов пропионовокислых бактерий, и разработка на их основе современных биопрепаратов для последующего применения в сельскохозяйственном производстве в целях повышения резистентности и улучшения обменных процессов организма является одним из перспективных направлений. В этой связи научно-исследовательская статья направлена на изучение выделенных культур пропионовокислых микроорганизмов и определение устойчивости бактерий к действию антибиотиков. В ходе работы были выделены 8 культур пропионовокислых бактерий из молочной сыворотки, дана оценка культурально-морфологических свойств микроорганизмов, а также изучена их чувствительность к антибиотикам. По результатам исследований следует, что выделенные культуры пропионовокислых бактерий обладают малой чувствительностью к антибиотикам. При этом наименьшие значения диаметра зон задержки роста показали штаммы Pr73 Pr5. Высокая чувствительность отмечена у штаммов Pr89, Pr33, Pr73 к доксициклину (34,9 мм, 31,4 мм, 30,8 мм). Штаммы Pr5, Pr80, Pr33, Pr11, Pr87, Pr44, Pr89 устойчивы к стрептомицину, гентамицину, цефепиму и линкомицину. Полученные данные необходимы для дальнейшего изучения выделенных культур в качестве пробиотиков в кормлении сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова: пропионовокислые микроорганизмы, пробиотики, антибиотикорезистентность, штаммы, антибиотики

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2024 г. ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста FGGN-2024-0016 (124020200032-4).

Для цитирования: Логвинова Т.И. Изучение антибиотикорезистентности выделенных штаммов пропионовокислых бактерий // Животноводство и кормопроизводство.2024. Т. 107, № 3. С. 163-173. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-163>

Original article

Study of antibiotic resistance of isolated strains of propionic acid bacteria

Tatyana I Logvinova¹

¹Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Dubrovitsy, Russia
¹vijmikrob@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7075-544X>

Abstract. Currently, the use of various probiotic preparations, which represent a stable community of physiologically compatible beneficial microorganisms that contribute to increased feed conversion, metabolic processes and reactivity of the animal body, has been widely used in the production of livestock

products. The study of the probiotic properties of microorganisms of propionic acid bacteria, and the development of modern biological products based on them for subsequent use in agricultural production in order to increase resistance and improve the metabolic processes of the body is one of the promising directions. In this regard, the research article is aimed at studying isolated cultures of propionic acid microorganisms and determining the resistance of bacteria to the action of antibiotics. In the course of the work, 8 cultures of propionic acid bacteria from whey were isolated, the cultural and morphological properties of microorganisms were evaluated, and their sensitivity to antibiotics was studied. According to the research results, the isolated cultures of propionic acid bacteria have low sensitivity to antibiotics. At the same time, the smallest values of the diameter of the growth retardation zones were shown by Pr73 Pr5 strains. At the same time, the smallest values of the diameter of the growth retardation zones were shown by Pr73 Pr5 strains. High sensitivity was noted in Pr89, Pr33, Pr73 strains to doxycycline (34.9 mm, 31.4 mm, 30.8 mm). Pr5, Pr80, Pr33, Pr11, Pr87, Pr44, Pr89 strains are resistant to streptomycin, gentamicin, cefepime and lincomycin. The data obtained are necessary for further study of isolated cultures as probiotics in the feeding of farm animals.

Keywords: propionic acid microorganisms, probiotics, antibiotic resistance, strains, antibiotics

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024 Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst FGGN-2024-0016 (124020200032-4).

For citation: Logvinova TI. Study of antibiotic resistance of isolated strains of propionic acid bacteria. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(3):163-173. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-163>

Введение.

На сегодняшний день в животноводстве широкое применение получило теоретическое и практическое обоснование использования пробиотических препаратов, под которыми понимают устойчивое сообщество физиологически совместимых полезных микроорганизмов. Они, находясь в желудочно-кишечном тракте животных, участвуют в расщеплении и метаболизме аминокислот, жиров, углеводов, витаминов, микроэлементов, с помощью вырабатываемых ими ферментов, способствуют улучшению усвоения корма, что позволяет увеличить продуктивность, повысить резистентность и интенсивность обменных процессов в организме (Ефимова Л.В. и Удалова Т.А., 2011; Овчинников А.А., 2017; Головнева Н.А. и др., 2018).

Актуальными исследованиями является изучение положительного воздействия молочнокислых штаммов, способных нормализовать функционирование микрофлоры желудочно-кишечного тракта и регулировать здоровье организма животных. Данные штаммы получили название «пробиотики», в основном к ним относят молочнокислые бактерии рода *Lactobacillus* и *Bifidobacterium* (Fontana L et al., 2013), а также используются бактерии рода *Propionibacterium* (Дускаев Г.К. и др., 2019; Thierry A et al., 2011).

Согласно литературным данным, пробиотики характеризуются высокой ферментативной активностью, регулируют и стимулируют пищеварение, оказывают противоаллергенное, антитоксическое действие и повышают неспецифическую резистентность организма (Арифиллина Л.Р. и Волкова Г.С., 2018).

Пропионовокислые бактерии – грамположительные, неподвижные палочки или кокки, не образуют спор, факультативные анаэробы, размером 0,5-0,8×1,0-1,5 мкм. Оптимальная температура роста – +30...+37 °С и pH – около 7.

Основными продуктами брожения микроорганизмов являются пропионовая, уксусная кислоты и углекислый газ. В процессе своей жизнедеятельности данные микроорганизмы образуют каталазу и супероксиддисмутазу. Последний фермент защищает бактериальные клетки описываемых микроорганизмов от повреждающего действия кислорода воздуха и свободных радикалов (Орлова Т., 2021; Логвинова Т.И., 2023).

Данные микроорганизмы стимулируют метаболизм углеводов и превращают их в продукты распада, синтез витаминов, бактериоцины, трегалозу и другие биологически активные вещества, проявляющие иммуномодулирующие и антиканцерогенные свойства. Это обуславливает их положительную роль как пробиотиков (Zarate G and Chaia AP, 2012).

Пропионовокислые микроорганизмы приживаются в кишечнике животных, поглощают микотоксины в пищеварительном тракте, стимулируют иммунную систему, снижают мутагенное действие ряда химических соединений и ультрафиолетовых лучей (Хаева О.Э. и Икоева Л.П., 2018; Орлова Т., 2021).

Способность синтезировать антистрессорные белки позволяет этим бактериям восстанавливать и увеличивать жизнеспособность клеток, подвергшихся разным негативным воздействиям (Рожкова Е.П., 2018).

Пропионовокислые бактерии и их антигены повышают противовирусную и антибактериальную защиту организма, путём синтеза антибактериальных компонентов, активных в отношении энтеробактерий, анаэробных микроорганизмов, грибов. Поэтому все чаще используют консорциумы пробиотических микроорганизмов, в состав которых входят лакто-, бифидобактерии и штаммы пропионовокислых бактерий (Хамагаева И.С. и др., 2006).

Способность синтезировать биологически активные вещества, в частности бактерии рода *Propionibacterium*, позволяет их использовать как отдельно, в качестве самостоятельных пробиотиков, так и в составе поликомпонентных препаратов (Милентьева И.С. и др., 2021).

На сегодняшний день в промышленном животноводстве и птицеводстве для поддержания работы желудочно-кишечного тракта и профилактики и лечения патологий широко применяются различные пробиотические препараты, производимые на основе выращивания живых культур микроорганизмов (Сверчкова Н. и Коломиец Э., 2016; Тузиков Р.А. и др., 2022). Исследования ряда иностранных учёных показывают, что использование пробиотических препаратов способствует повышению уровня иммуноглобулинов в сыворотке крови (Zhang ZF and Kim IH, 2014).

Данные микроорганизмы характеризуются такими свойствами, как низкая токсичность, устойчивость к веществам и внутренней среде желудочно-кишечного тракта, высокая адгезивная способность, устойчивость к антибактериальным веществам, которые используются в антибиотикотерапии различных патологий. Применение таких штаммов в качестве пробиотиков в комплексной терапии вместе с антибиотиками позволяет снизить риск развития дисбактериозов, патогенной микрофлоры желудочно-кишечного тракта, возникающих на фоне применения антибактериальных препаратов, а также сократить сроки лечебных мероприятий (Бояринцева И.В. и др., 2020).

Учитывая перспективность исследований данных бактерий сотрудниками лаборатории микробиологии ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста ведётся работа по выделению пропионовокислых микроорганизмов и изучению их ростовых, морфологических, пробиотических свойств и селективных признаков.

Цель исследования.

Выделение новых культур микроорганизмов, изучение их устойчивости к действию антибиотиков с целью использования в качестве пробиотических культур для сельскохозяйственных животных и птицы.

Материалы и методы исследований.

Объект исследования. Культуры пропионовокислых бактерий, выделенные из молочной сыворотки.

Схема эксперимента. Методом 10-кратных разведений, с последующим высевом на Бифидум-среду (Оболensk, Россия) были выделены матричные (исходные) культуры пропионовокислых бактерий.

Чистые культуры получали высевом исходных культур на питательную среду MRS (Оболенск, Россия). Культивирование пропионовокислых бактерий производили в течение 2 суток при +37 °С в CO₂-инкубаторе с атмосферой, содержащей 5,5 % CO₂, O₂=17,1 %.

Морфологию пропионовокислых бактерий определяли стандартными методами (Murphy RGE et al., 1994; Беркли Р. и др., 1997), путём приготовления фиксированных мазков, окрашенных по Граму с последующим микроскопированием.

Дифференцировку бактерий по биохимическим свойствам их клеточной стенки проводили с использованием набора для окраски по Граму Gram Stains-Kit (HiMedia, Индия). Клеточную стенку грамположительных бактерий фиксирует краситель кристаллический фиолетовый и раствор йода, она не обесцвечивается этанолом и не воспринимает краситель сафранин. Поэтому грамположительные формы бактерий окрашиваются в тёмно-синий цвет (Шишин М.В. и Просеков А.Ю., 2015).

Чувствительность выделенных изолятов к антимикробным препаратам определяли диско-диффузным методом (ДДМ) с наложением стандартных бумажных дисков, пропитанных антимикробными препаратами, на поверхность плотной среды. Метод основан на способности антимикробных препаратов, диффундирующих в питательную среду, угнетающих рост микроорганизмов, посеянных на поверхности агара, вокруг дисков с образованием зон задержки роста (Методические указания..., 2011).

Для этого готовили суточную культуру пропионовокислых бактерий, которую выращивали на бульоне MRS для лактобактерий (HiMedia, Индия), инкубировали в CO₂-инкубаторе с атмосферой, содержащей 5,5 % CO₂, O₂=17,1 % при +37 °С. Затем суточную культуру исследуемого штамма со средой MRS (Оболенск, Россия) высевали сплошным газоном на чашки Петри и после застывания раскладывали на поверхность агара диски с антибиотиками (HiMedia, Индия). Через 24 ч культивирования в CO₂-инкубаторе с атмосферой, содержащей 5,5 % CO₂, O₂=17,1 % при +37 °С, измеряли кронциркулем диаметры зон задержки роста с точностью до 1 мм.

Интерпретацию результатов устойчивости пропионовокислых бактерий к антибиотикам осуществляли по диаметру зон изолятов: диаметр зоны подавления роста менее 10 мм – устойчивый, 11-20 мм – промежуточно устойчивые (малочувствительные), более 21 мм – чувствительные (Методические указания..., 2011).

Оборудование и технические средства. Исследования проводились в лаборатории микробиологии ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Микроскоп для морфологических исследований бинокулярный (XS-90, Китай), CO₂-инкубатор ЕСКО (CelCulture CCL-050, Корея).

Статистическая обработка. Статистический анализ выполняли с помощью программного обеспечения «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США). Исследование осуществляли в трёхкратной повторности, результаты выражали в виде средней арифметической и стандартной ошибки среднего.

Результаты исследования.

В ходе проведённых исследований были выделены 8 чистых культур пропионовокислых бактерий. Полученные штаммы исследованы по культурально-морфологическим свойствам. Данные штаммы способны расти в аэробных и анаэробных условиях, представляют собой грамположительные, не спорообразующие, факультативные анаэробы.

Анализ микроскопических препаратов бактериальных культур показал, что клетки культур пропионовокислых бактерий, выделенные из молочной сыворотки на питательной среде MRS, кокковидной формы, грамположительные, расположение в основном – в виде групп, скоплений. Морфология пропионовокислых микроорганизмов представлена на рисунке 1 (увеличение WF 16×90).

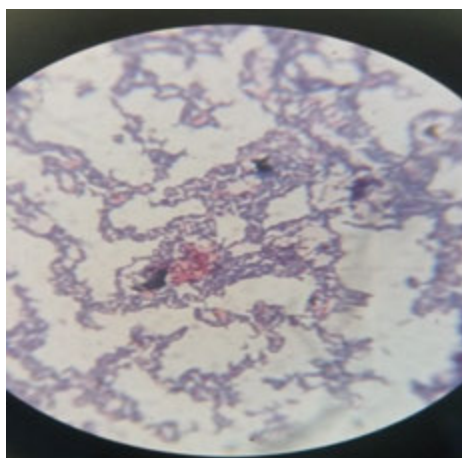


Рисунок 1. Изолят пропионовокислых бактерий, выделенный из молочной сыворотки
Figure 1. Isolate of propionic acid bacteria isolated from whey

При росте на плотной питательной среде пропионовокислые бактерии образовывали маслянистые колонии кремового цвета, гладкие, блестящие, по штриху – рост умеренный (рис. 2).

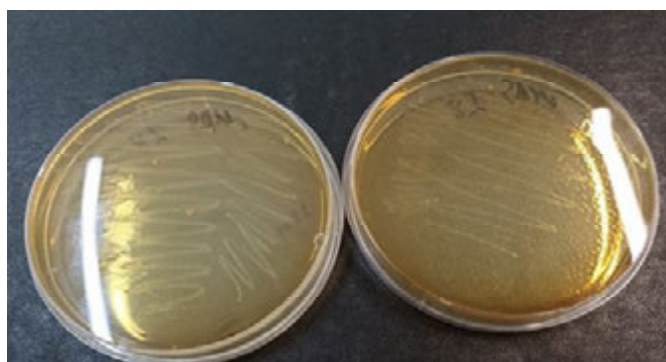


Рисунок 2. Пропионовокислые бактерии (питательная среда MRS)
Figure 2. Propionic acid bacteria (MRS nutrient medium)

Антибиотики воздействуют на ферментную активность и морфологию клеток микроорганизмов инокулята. Так, пенициллин подавляет способность сбразивать моносахара, действие фермента альдолазы, стрептомицин – способность сбразивать дисахара, тетрациклин – действие фермента лактозагидрогеназы. В этой связи представляет интерес изучение устойчивости к антибиотикам выделенных культур пропионовокислых микроорганизмов.

Результаты определения чувствительности исследуемых культур к действию ряда антибиотиков (доксидиклин, стрептомицин, гентамицин, тетрациклин, ципрофлоксацин, пенициллин, цефепим, линкомицин, ванкомицин, эритромицин, левомицетин, ампициллин, цефоперазон) представлены в таблице 1.

Согласно таблице 1 культуры пропионовокислых бактерий обладают в основном малой чувствительностью к антибиотикам. Наименьшие значения диаметра зон задержки роста показали штаммы: Pr73 (устойчив к стрептомицину, гентамицину, ципрофлоксацину и цефепиму), Pr5 (устойчив к стрептомицину, гентамицину, цефепиму и линкомицину). Штаммы Pr80, Pr33, Pr11, Pr87, Pr44, Pr89 обладают устойчивостью к стрептомицину, гентамицину, цефепиму и линкомицину. Высокая чувствительность отмечена у штаммов Pr89, Pr33, Pr73 к доксициклину (34,9 мм, 31,4 мм, 30,8 мм).

Таблица 1. Результаты изучения антибиотикорезистентности выделенных штаммов пропионовокислых бактерий

Table 1. The results of the study of antibiotic resistance of isolated strains of propionic acid bacteria

Наименование антибиотика / The name of the antibiotic	Диаметр зоны задержки роста (мм) при использовании антибиотика в концентрации (мкг, МЕ) / The diameter of the growth retardation zone (mm) when using an antibiotic in concentration (mcg, IU)							
	Pr73	Pr80	Pr5	Pr33	Pr11	Pr87	Pr44	Pr89
Доксициклин (30 мкг) / Doxycycline (30 mcg)	30,8±1,9	29,7±1,2	19,6±0,7	31,4±1,2	28,8±1,2	25,9±0,4	21,7±0,8	34,9±1,1
Стрептомицин (10 мкг) / Streptomycin (10 mcg)	0	0	0	0	0	0	0	0
Гентамицин (10 мкг) / Gentamicin (10 mcg)	0	10,0±0,6	0	0	0	0	0	0
Тетрациклин (30 мкг) / Tetracycline (30 mcg)	16,7±1,3	25,0±0,9	16,5±0,6	25,1±1,1	25,4±0,7	22,9±1,0	17,7±1,2	29,8±0,6
Ципрофлоксацин (5 мкг) / Ciprofloxacin (5 mcg)	10,0±0,5	12,7±0,5	13,0±1,2	12,1±0,4	11,5±1,2	14,1±1,5	13,5±1,3	15,8±0,8
Пенициллин (10 мкг) / Penicillin (10 mcg)	16,2±1,0	18,0±1,3	16,2±0,9	19,2±1,3	17,6±0,8	17,9±0,6	17,1±0,5	21,1±1,2
Цефепим (30 мкг) / Cefepime (30 mcg)	0	0	0	0	0	0	0	0
Линкомицин (15 мкг) / Lincomycin (15 mcg)	11,1±0,5	7,1±3,5	10,4±0,3	10,6±0,5	11,2±0,8	10,0±0,6	0	10,1±0,45
Ванкомицин (30 мкг) / Vancomycin (30 mcg)	19,1±1,3	21,4±0,5	19,6±0,8	21,8±0,9	21,4±0,9	22,8±1,0	22,8±1,7	25,9±0,8
Эритромицин (15 мкг) / Erythromycin (15 mcg)	15,9±1,4	21,6±2,1	20,7±1,1	24,8±1,0	22,0±0,6	15,3±1,7	14,5±0,7	25,8±0,1
Левомецетин (30 мкг) / Levomicetin (30 mcg)	19,7±1,6	22,6±1,2	19,3±0,4	22,7±0,9	22,0±0,5	24,9±1,5	22,7±0,5	25,0±0,9
Ампициллин (10 мкг) / Ampicillin (10 mcg)	12,0±0,7	15,3±1,8	12,8±0,4	15,5±1,2	15,0±0,8	14,3±0,3	14,9±1,0	16,5±0,5
Цефоперазон (30 мкг) / Cefoperazone (30 mcg)	16,5±0,8	16,7±1,2	16,7±1,2	15,4±0,1	18,5±1,0	17,6±0,8	16,6±0,3	19,4±0,9

Обсуждение полученных результатов.

Благодаря наличию уникальных свойств пропионовокислых бактерий их рекомендуют применять на фоне антибиотикотерапии для более эффективного восстановления нормальной микрофлоры кишечника (Богданова Л.Л. и др., 2009; Bellisle F et al., 1998).

Для оценки возможности использования выделенных культур бактерий в качестве пробиотиков, они были протестированы на антибиотикорезистентность. Полученные результаты показали, что выделенные культуры бактерий обладают малой чувствительностью к ципрофлоксацину (5 мкг), пенициллину (10 мкг), частично к эритромицину (15 мкг), ампициллину (10 мкг) и цефоперазону (30 мкг). Данные штаммы пропионовокислых бактерий антибиотикорезистентны к стрептомицину (10 мкг), гентамицину (10 мкг), цефепиму (30 мкг) и линкомицину (15 мкг, кроме Pr73 и Pr11). Необходимо отметить, что данные штаммы чувствительны к доксициклину (30 мкг), тетрациклину (30 мкг), ванкомицину (30 мкг) и левомицетину (30 мкг).

Заключение.

В ходе проведенных исследований были выделены, морфологически изучены новые культуры пропионовокислых бактерий и установлена их чувствительность к 13 антимикробным препаратам. Полученные результаты необходимы для дальнейшего исследования пробиотических свойств выделенных культур с целью использования их в качестве пробиотиков в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы.

Список источников

1. Арифиллина Л.Р., Волкова Г.С. Консорциум бактерий как основа создания пробиотических добавок для животноводства // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 1. С. 41-45. [Arifullina LR, Volkova GS. Consortium of bacteria as a basis for creating probiotic additives for livestock production. Storage and Processing of Farm Products. 2018;1:41-45. (In Russ.)].
2. Бояринаева И.В., Хамагаева И.С., Муруев И.Е., Исследование антибиотической активности и антибиотикоустойчивости чистых культур *PROPIONIBACTERIUM FREUDENREICHII SH-85* и ацидофильной палочки с целью дальнейшего использования культур в производстве бактериального концентрата // The scientific heritage. 2020. № 44-2(44). С. 3-6 [Boiarineva I, Khama-gaeva I, Muruyev I. Research of antibiotic activity and antibiotic resistance of pure cultur of *PROPIONIBACTERIUM FREUDENREICHII SH-85* and acidophilus bacillus for further use of cultures in the production of bacterial concentrate. The scientific heritage. 2020;44-2(44):3-6. (In Russ.)].
3. Выделение пропионовокислых бактерий и характеристика их физиолого-биохимических и производственно-ценных свойств / Л.Л. Богданова, С.Л. Василенко, Д.П. Бажанов, К.К. Яцевич, Н.И. Петрушеня, Л.В. Сафроненко // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2009. № 4. С. 48-61. [Bogdanova L, Vasylenko S, Bazhanov D, Yatsevich K, Petrushenia N, Safronenko L. Isolation of propionic acid bacteria and characterization of their physiological, biochemical and biotechnological properties. Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials. 2009;4:48-61. (In Russ.)].
4. Ефимова Л.В., Удалова Т.А. Эффективные микроорганизмы в кормлении крупного рогатого скота и свиней. Красноярск: Красноярский НИИЖ Россельхозакадемии, 2011. 100 с. [Efimova LV, Udalova TA. Effektivnyye mikroorganizmy v kormlenii krupnogo rogatogo skota i svinej. Krasnojarsk: Krasnojarskij NIZh Rossel'hoz akademii; 2011:100 p. (In Russ.)].
5. Изучение влияния пробиотиков на продуктивные и гематологические показатели крови цыплят-бройлеров / Р.А. Тузиков, С.В. Лебедев, А.Е. Аринжанов, М.С. Аринжанова // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 4. С. 195-207. [Tuzikov RA, Lebedev SV, Arinzhanov AE, Arinzhanova MS. Study of the effect of probiotics on productive and hematological parameters of broiler blood. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(4):195-207. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-195

6. Использование пробиотиков и растительных экстрактов для улучшения продуктивности жвачных животных (обзор) / Г.К. Дускаев, Г.И. Левахин, В.Л. Королёв, Ф.Х. Сиразетдинов // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. № 1. С.136-148. [Duskaev GK, Levakhin GI, Korolyov VL, Sirazetdinov FKh. Use of probiotics and plant extracts to improve the productivity of ruminants (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(1):136-148. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-136
7. Логвинова Т.И. Использование пропионовокислых микроорганизмов: от теории к практике (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 164-177. [Logvinova TI. The use of propionic acid microorganisms: from theory to practice (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):164-177. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-164
8. Методические указания по санитарно-эпидемиологической оценке безопасности и функционального потенциала пробиотических микроорганизмов, используемых для производства пищевых продуктов: метод. указания (МУ 2.3.2.2789-10). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 104 с. [Metodicheskie ukazaniya po sanitarnojepidemiologicheskoj ocenke bezopasnosti i funkcional'nogo potenciala probioticheskikh mikroorganizmov, ispol'zuemyh dlja proizvodstva pishhevyh produktov: metod. ukazaniya (MU 2.3.2.2789-10). Moscow: Federal'nyj centr gigieny i jepidemiologii Rospotrebnadzora; 2011:104 p. (In Russ.)].
9. Милентьева И.С., Козлова О.В., Еремеева Н.И. Исследование пробиотических свойств бактерий рода *Propionibacterium* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2021. Т. 9, № 2. С. 83-92. [Milentyeva IS, Kozlova OV, Eremeeva NI. Study of probiotic properties of bacteria of the genus *Propionibacterium*. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2021;9(2): 83-92. (In Russ.)]. doi: 10.14529/food210209
10. Овчинников А.А. Продуктивность свиноматок при использовании в рационе пробиотиков // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 1(97). С. 119-123. [Ovchinnikov AA. Productivity of sows at the use of probiotics in the ration. *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2017;1(97):119-123. (In Russ.)].
11. Определитель бактерий Берджи: в 2-х т. / Р. Беркли и др.; под ред. Дж. Хоулта и др.; пер. с англ. под ред. акад. РАН Г.А. Заварзина. 9-е изд. М.: Мир, 1997. Т. 1. 429 с. [Berkeley R et al. *Bergey's Manual of determinative bacteriology: in 2 volumes*, edited by Hoult J et al., translated from English. ed. acad. RAS Zavarzina GA. 9th ed. Moscow: Mir; 1997;1:429 p. (In Russ.)].
12. Орлова Т. Изучение биологической активности пропионовокислых бактерий // *The Scientific Heritage*. 2021. № 79-2(79). С. 31-33. [Orlova T. The study of biological activity of propionic acid bacteria. *The Scientific Heritage*. 2021;79-2(79):31-33. (In Russ.)]. doi: 10.24412/9215-0365-2021-79-2-31-33
13. Особенности культивирования пропионовокислых бактерий – компонентов биопрепаратов / Н.А. Головнева, Н.Е. Рябая, А.Н. Морозова, А.А. Самарцев // *Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. науч. тр.* Минск: РУП «Издательский дом «Беларуская навукa», 2018. Т. 10. С. 32-44. [Golovneva NA, Ryabaya NE, Morozova AN, Samartsev AA. Features of cultivation of propionic acid bacteria - components of biological preparations. *Mikrobnnye biotehnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty: sb. nauch. tr.* Minsk: RUP «Izdatel'skij dom «Belaruskaja navuka». 2018;10:32-44. (In Russ.)].
14. Рожкова Е.П. Классические пропионовокислые бактерии как пробиотики: учеб. пособие. М.: Изд-во биол. факультета Моск. гос. ун-та, 2018. 44 с. [Rozhkova EP. *Klassicheskie propionovokislye bakterii kak probiotiki: ucheb. posobie*. Moscow: Izdatel'setvo biologicheskogo fakul'teta Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta; 2018:44 p. (In Russ.)].
15. Сверчкова Н., Коломиец Э. Пробиотические препараты для ветеринарии и кормопроизводства // *Наука и инновации*. 2016. № 5(159). С. 38-39. [Sverchkova N, Kolomiets E. Probiotic preparations for veterinary and feed production. *Science and Innovations*. 2016;5(159):38-39. (In Russ.)].

16. Хаева О.Э., Икоева Л.П. Выделение и изучение устойчивости пропионовокислых бактерий к кислотному стрессу // Известия Горского гос. аграрного ун-та. 2018. Т. 55. №. 2. С. 152-156. [Khaeva OE, Ikoeva LP. Isolation and study of propionic acid bacteria resistance to acid stress. Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2018;55(2):152-156. (In Russ.)].
17. Хамагаева И.С., Качанина Л.М., Тумурова С.М. Биотехнология заквасок пропионовокислых бактерий. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. 172 с. [Hamagaeva IS, Kachanina LM, Tumurova SM. Biotehnologija zakvasok propionovokislyh bakterij. Ulan-Udje: Izdatel'setvo VSGTU; 2006:172 p. (In Russ.)].
18. Шишин М.В., Просеков А.Ю. Исследование морфологических и антимикробных свойств микроорганизмов кишечного тракта // Техника и технология пищевых производств. 2015. Т. 39. № 4. С. 131-137. [Shishin MV, Prosekov AYU. Investigation of morphological and antimicrobial properties of intestinal tract microorganisms. Food Processing: Techniques and Technology. 2015;39(4):131-137. (In Russ.)].
19. Bellisle F et al. Functional food science and behavior and psychological functions. Brit J Nutr. 1998;80(S1):S173-S193. doi: 10.1079/bjn19980109
20. Fontana L, Bermudez-Brito M, Plaza-Diaz J, Muñoz-Quezada S, Gil A. Sources, isolation, characterisation and evaluation of probiotics. British Journal of Nutrition. 2013;109(S2):S35-S50. doi: 10.1017/s0007114512004011
21. Murray RGE et al. Determination and cytological light microscopy. In: Gerhardt P, Murray RGE, Wood WA, Krieg NR, editors. Methods for General and Molecular Bacteriology. Washington, DC: American Society for Microbiology; 1994:21-41.
22. Thierry A, Deutsch SM, Falentin H, Dalmasso M, Cousin FJ, Jan G. New insights into physiology and metabolism of *Propionibacterium freudenreichii*. International Journal of Food Microbiology. 2011;149(1):19-27. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.04.026
23. Zárate G, Chaia AP. Influence of lactose and lactate on growth and β -galactosidase activity of potential probiotic *Propionibacterium acidipropionici*. Anaerobe. 2012;18(1):25-30. doi: 10.1016/j.anaerobe.2011.12.005
24. Zhang ZF, Kim IH. Effects of multistrain probiotics on growth performance, apparent ileal nutrient digestibility, blood characteristics, cecal microbial shedding, and excreta odor contents in broilers. Poultry Science. 2014;93(2):364-370. doi: 10.3382/ps.2013-03314

References

1. Arifullina LR, Volkova GS. Consortium of bacteria as a basis for creating probiotic additives for livestock production. Storage and Processing of Farm Products. 2018;1:41-45.
2. Boiarineva I, Khamagaeva I, Muruyev I. Research of antibiotic activity and antibiotic resistance of pure cultur of *PROPIONIBACTERIUM FREUDENREICHII SH-85* and acidophilus bacillus for further use of cultures in the production of bacterial concentrate. The scientific heritage. 2020;44-2(44):3-6.
3. Bogdanova L, Vasylenko S, Bazhanov D, Yatsevich K, Petrushenia N, Safronenko L. Isolation of propionic acid bacteria and characterization of their physiological, biochemical and biotechnological properties. Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials. 2009;4:48-61.
4. Efimova LV, Udalova TA. Effective microorganisms in the feeding of cattle and pigs. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Research Institute of Animal Husbandry of RAA; 2011:100 p.
5. Tuzikov RA, Lebedev SV, Arinzhanov AE, Arinzhanova MS. Study of the effect of probiotics on productive and hematological parameters of broiler blood. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(4):195-207. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-195
6. Duskaev GK, Levakhin GI, Korolyov VL, Sirazetdinov FK. Use of probiotics and plant extracts to improve the productivity of ruminants (review) Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(1):136-148. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-136

7. Logvinova TI. The use of propionic acid microorganisms: from theory to practice (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):164-177. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-164
8. Methodical guidelines for sanitary and epidemiological assessment of safety and functional potential of probiotic microorganisms used for food production: methodical guidelines (MU 2.3.2.2789-10). Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare; 2011:104 p.
9. Milentyeva IS, Kozlova OV, Ereemeeva NI. Study of probiotic properties of bacteria of the genus *Propionibacterium*. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2021;9(2): 83-92. doi: 10.14529/food210209
10. Ovchinnikov AA. Productivity of sows at the use of probiotics in the ration. *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2017;1(97):119-123.
11. Berkeley R et al. *Bergey's Manual of determinative bacteriology: in 2 volumes*, edited by Houtl J et al., translated from English. ed. acad. RAS Zavarzina GA. 9th ed. Moscow: Mir; 1997;1:429 p.
12. Orlova T. The study of biological activity of propionic acid bacteria. *The Scientific Heritage*. 2021;79-2(79):31-33. doi: 10.24412/9215-0365-2021-79-2-31-33
13. Golovneva NA, Ryabaya NE, Morozova AN, Samartsev AA. Features of cultivation of propionic acid bacteria - components of biological preparations. *Microbial biotechnologies: fundamental and applied aspects: collection of scientific articles* Minsk: RUE «Publishing House «Belaruskaja navuka». 2018;10:32-44.
14. Rozhkova EP. *Classical propionic acid bacteria as probiotics: a tutorial*. Moscow: Publishing house of the Faculty of Biology, Moscow State University; 2018:44 p.
15. Sverchkova N, Kolomiets E. Probiotic preparations for veterinary and feed production. *Science and Innovations*. 2016;5(159):38-39.
16. Khaeva OE, Ikoeva LP. Isolation and study of propionic acid bacteria resistance to acid stress. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2018;55(2):152-156.
17. Hamagaeva IS, Kachanina LM, Tumurova SM. *Biotechnology of propionic acid bacteria inoculums*. Ulan-Ude: Publishing House of ESSUTM. 2006; 172 p.
18. Shishin MV, Prosekov AYu. Investigation of morphological and antimicrobial properties of intestinal tract microorganisms. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2015;39(4):131-137.
19. Bellisle F et al. Functional food science and behavior and psychological functions. *Brit J Nutr*. 1998;80(S1):S173-S193. doi: 10.1079/bjn19980109
20. Fontana L, Bermudez-Brito M, Plaza-Diaz J, Muñoz-Quezada S, Gil A. Sources, isolation, characterisation and evaluation of probiotics. *British Journal of Nutrition*. 2013;109(S2):S35-S50. doi: 10.1017/s0007114512004011
21. Murray RGE et al. Determination and cytological light microscopy. In: Gerhardt P, Murray RGE, Wood WA, Krieg NR, editors. *Methods for General and Molecular Bacteriology*. Washington, DC: American Society for Microbiology; 1994:21-41.
22. Thierry A, Deutsch SM, Falentin H, Dalmaso M, Cousin FJ, Jan G. New insights into physiology and metabolism of *Propionibacterium freudenreichii*. *International Journal of Food Microbiology*. 2011;149(1):19-27. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.04.026
23. Zárate G, Chaia AP. Influence of lactose and lactate on growth and β -galactosidase activity of potential probiotic *Propionibacterium acidipropionici*. *Anaerobe*. 2012;18(1):25-30. doi: 10.1016/j.anaerobe.2011.12.005
24. Zhang ZF, Kim IH. Effects of multistrain probiotics on growth performance, apparent ileal nutrient digestibility, blood characteristics, cecal microbial shedding, and excreta odor contents in broilers. *Poultry Science*. 2014;93(2):364-370. doi: 10.3382/ps.2013-03314

Информация об авторах:

Татьяна Ивановна Логвинова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории микробиологии, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8(4967)651133.

Information about the authors:

Tatiana I Logvinova, Cand. Sci. (Biology), Researcher at the Microbiology Laboratory, Federal Research Center of Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk district, Moscow region, 142132, tel.: 8(4967)651133.

Статья поступила в редакцию 24.06.2024; одобрена после рецензирования 28.06.2024; принята к публикации 09.09.2024.

The article was submitted 24.06.2024; approved after reviewing 28.06.2024; accepted for publication 09.09.2024.