

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 4. С. 164-177.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 4. P. 164-177.

Обзорная статья

УДК 576.8.095

doi:10.33284/2658-3135-106-4-164

Использование пропионовокислых микроорганизмов: от теории к практике

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. Ужесточение требований к качеству продуктов питания значительно изменило требования к технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, в т. ч. животного происхождения. На смену кормовым антибиотикам и гормональным стимуляторам роста приходят новые биотехнологические методы и препараты. Одним из широко распространённых современных приёмов подавления условно-патогенной и патогенной микрофлоры является применение специальных культур, микроорганизмов-пробиотиков, из которых наиболее популярны молочнокислые и пропионовокислые микроорганизмы. В настоящее время большой интерес представляет изучение пропионовокислых бактерий, относящихся к одним из самых полезных и распространённых групп микроорганизмов, выполняющих антимикробные, иммуномоделирующие и метаболические функции. Особый практический интерес вызывает возможность производства на их основе биологически активных соединений, таких как пропионовая кислота, витамин В₁₂, трегалоза и бактериоцины. В статье рассмотрены биотехнологические особенности использования их в различных пищевых, косметических и фармацевтических продуктах.

Ключевые слова: пропионовокислые микроорганизмы, пробиотические бактерии, бактериоцины, биоконсервант, кормовые добавки

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2021-2023. гг. ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (FGGN-2021-0002).

Для цитирования: Логвинова Т.И. Использование пропионовокислых микроорганизмов: от теории к практике (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. Т. 106, № 4. С. 164-177. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-164>

Review article

The use of propionic acid microorganisms: from theory to practice

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. Stricter requirements for the quality of food products have significantly changed the requirements for the technology of production and processing of agricultural products, including animal origin. Feed antibiotics and hormonal growth stimulants are being replaced by new biotechnological methods and drugs. One of the widespread modern methods of suppressing opportunistic and pathogenic microflora is the use of special cultures of microorganisms-probiotics, the most famous of which are lactic acid and propionic acid microorganisms. The study of propionic acid bacteria, one of the most useful and

widespread groups of microorganisms with antimicrobial, immunomodulatory and metabolic functions, is currently of great interest. Of particular practical interest is the possibility of producing biologically active compounds based on them, such as propionic acid, vitamin B₁₂, trehalose and bacteriocins. The article discusses the biotechnological features of their use in various food, cosmetic and pharmaceutical products.

Keywords: propionic acid microorganisms, probiotic bacteria, bacteriocins, bioconservant, feed additives

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2021-2023 Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst (FGGN-2021-0002).

For citation: 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.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-164>

Введение.

К началу XX века Э. Фон Фрейденрайх и Сигурд Орла-Енсен впервые описали пропионовокислые бактерии и выделили чистые культуры этих бактерий из эментальского сыра. Основными источниками выделения чистых культур пропионовых бактерий были сыры, молоко и молочные продукты. А.Ф. Войткевич – первый исследователь микрофлоры русских сыров, описавший изолированные пропионовокислые бактерии (Воробьева Л.И., 1995).

К классическим пропионовокислым бактериям относят четыре вида, основные представители: *P. freudenreichii* subsp. *freudenreichii* и *P. freudenreichii* subsp. *Shermanii*. Место обитания классических (молочных) бактерий – молоко, сыр. Кожные бактерии (три вида: *P. acnes*, *P. avidum*, *P. granulosum*) обитают на коже, в кишечнике людей и животных, являются биологической защитой человека и полезной естественной микрофлорой рубца животных. Данный вид бактерий также обнаруживается в угрях, мягких и гнойных тканевых абсцессах, ранах. *Propionibacterium propionicus* – подгруппа пропионовокислых бактерий, обитающих в почве (Исаева А.В., 2018).

Пропионовокислые бактерии (*Propionibacterium*) – род грамположительных факультативных анаэробных неподвижных бактерий. Клетки – часто булабовидной, реже – кокковидной, изогнутой форм в зависимости от условий и цикла развития. Расположение клеток – одиночное, парное или в виде коротких цепочек, V- или Y-конфигурации. На жидкой питательной среде биомасса бактерий представлена в виде плотного осадка. На твердой питательной среде образуют колонии округлой формы и могут быть кремового, оранжевого, красного или коричневого цвета в зависимости от вида.

В работе Воробьевой Л.И. и соавторов (2017) показано, что род *Propionibacterium* выступает в качестве антагониста по отношению к ряду условно-патогенных и патогенных микроорганизмов.

Данные микроорганизмы нашли широкое применение в сельском хозяйстве и в разных отраслях промышленности (Gabriela Z, 2012). Эти бактерии синтезируют различные биологически активные соединения, включая витамин B₁₂, пропионовую, уксусную, фолиевую кислоты, бактериоцины, трегалозу, ферменты (Roopam et al., 2012; Хаева О.Э. и Икоева Л.П., 2018; Головнева Н.А. и др., 2018). Они обладают способностью поглощать микотоксины в пищеварительном тракте, стимулируют иммунную систему, снижают частоту спонтанных мутаций в организме человека и животных и вредоносные действия над клеточным генетическим материалом ряда антропогенных веществ и УФ-облучения (Хаева О.Э. и Икоева Л.П., 2018; Орлова Т., 2021).

Исходя из этого, пропионовокислые бактерии эффективно применяются для создания ряда пробиотических препаратов наряду с бифидо- и лактобактериями (Хамагаева И.С. и др., 2013; Кузнецова Т.В. и др., 2015).

Особую актуальность приобретает исследование и применение пропионовокислых бактерий в качестве пробиотических микроорганизмов в молочной промышленности в производстве

молочной продукции и в кормопроизводстве в качестве компонента биоконсервантов для силоса и сенажа для улучшения рубцового пищеварения и профилактики acidозов.

Цель исследования.

Предоставить краткий обзор аспектов, связанных с исследованиями биологических свойств разных штаммов пропионовокислых микроорганизмов и возможности применения их в производстве кормовых добавок, биоконсервантов корма, продуктов питания и биологической промышленности.

Материалы и методы исследования.

Поиск и анализ литературы проводился с использованием интернет-ресурсов: РИНЦ – <https://www.elibrary.ru>, Текнофид – <https://info@teknofeed.org>, National library of medicine – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov> за период 2000-2023 гг.

Результаты исследования и обсуждение.

Повышение техногенной загрязнённости и ухудшение экологической обстановки приводит к росту микробиологической нагрузки на организм продуктивных животных и негативно сказывается на формировании и саморегуляции кишечного биоценоза (Исхакова А.Р., 2016). В этой связи одним из перспективных направлений является более детальное исследование пробиотических свойств микроорганизмов, в т. ч. пропионовокислых бактерий, и разработка на их основе современных биопрепаратов для последующего применения в сельскохозяйственном производстве для повышения резистентности и улучшения обменных процессов организма.

Так, в исследованиях Орловой Т.Н. (2021) были детально изучены культуральные свойства многоштаммовой культуры пропионовокислых бактерий (*Propionibacterium freudenreichii* sp.) при культивировании на сывороточной среде. Полученные результаты свидетельствуют об активном росте данных микроорганизмов на питательной среде с высокой концентрацией клеток. Так, при росте культуры на сывороточной среде был синтезирован витамин В₁₂. Установлено, что исследуемые микроорганизмы эффективно подавляли рост *C. Perfringens* и *E. Coli*. Полученные результаты позволили обосновать использование данной культуры при производстве молочных продуктов и бактериальных препаратов в качестве пробиотических микроорганизмов.

Данные микроорганизмы также могут использоваться для переработки пищевых отходов и кормов для нейтрализации мутагенных веществ. Некоторые виды этих бактерий способны подавлять и существенно замедлять рост различных злокачественных новообразований и снизить их распространение в организме (Орлова Т.Н., 2021).

Бактерии из рода *Propionibacterium* применяются в качестве сырной микрофлоры при производстве твёрдых сычужных сыров швейцарского типа, используются в хлебопечении, служат натуральными консервантами (Рыжкова Е.П. и др., 2009).

Практикуется обогащение пищевых продуктов витамином В₁₂ путём заквашивания. Субстраты, используемые в качестве заквасок, полученные на основе пропионовокислых бактерий, очень эффективны и ценны, что обусловлено пробиотическими и другими свойствами, высокой устойчивостью к действию желчных кислот. Противовоспалительные свойства данных микроорганизмов применяются в терапевтических целях при лечении и восстановлении микробиоты кишечника (Marechal CL et al., 2015; Meile L et al., 2008).

Штаммы пропионовокислых бактерий также используются в производстве кормов (Bioprofit™), которые являются источником витамина В₁₂, способствуют усвоению животными железа, кальция и защищают конечный продукт от грибковой инфекции. *P. Freudenreichii* регулирует микрофлору кишечника, стимулируя рост бифидобактерий, и защищает организм от роста патогенных микроорганизмов, вырабатывая бактериоцины. Пропионовокислые микроорганизмы обладают способностью поглощать микотоксины в пищеварительном тракте. Добавление их в корм приводит к его более широкому использованию, что способствует росту молодых животных. Согласно литературным данным, проводятся исследования по использованию живых бакте-

рий в качестве заменителя консервантов в молочных продуктах (сырах), продуктах для выпечки, фруктовых и овощных продуктах (Borawska J et al., 2010; Ranadheera RDCS et al., 2010).

На сегодняшний день *Propionibacterium freudenreichii* является единственным микроорганизмом, имеющим статус безопасности GRAS (Generally Recognized As Safe), который способен продуцировать активную форму витамина В₁₂, что позволяет использовать его при производстве витаминов, пищевых и кормовых добавок. Статус GRAS обозначает, что химическое вещество освобождено от требований Федерального закона о пищевых добавках, лекарствах и косметике (FFDCA) и указывает на возможность добавления живых бактериальных клеток и их метаболитов в продукты питания и корма при отсутствии генетически модифицированных бактерий (Santos F et al., 2007; Crofts TS et al., 2013).

Белобородовой Н.В. и Белобородовым С.М. (2000) установлено положительное влияние на желудочно-кишечный тракт организма при пероральном введении пропионовокислых микроорганизмов. В качестве действующего вещества использовали отмытые клетки данных бактерий в концентрации 10⁹-10¹⁰ КОЕ/мл. Положительный эффект, по мнению авторов, обусловлен обеспечением контроля состава микробиоты с помощью выделяемых пропионатов.

В исследованиях Seo JK (2010) установлено, что аналогичное применение клеток *P. Freudenreichii* даёт возможность стабилизировать обменные процессы за счёт синтеза в кишечнике фермента пропионовокислого брожения – метилмалонил-КоА-транскарбоксилазы.

По мнению Скобликова Н.Э. и соавторов (2009), включение в рацион сельскохозяйственных животных пробиотических препаратов повышает реактивность организма и сохранность поголовья.

Активатором иммунной системы организма выступает пропионовая кислота (пропионат). Так, в исследованиях французских учёных показано активное воздействие пропионовокислых бактерий на иммунную систему, позволяющее нормализовать её функциональное состояние. Учёными были установлены данные способности в результате определения уровня образования цитокинов ФНО-α и ИФН-γ клетками эпителия кишечника под влиянием различных штаммов пропионовокислых бактерий (Foligne V et al., 2010; Kekkonen RA et al., 2008).

Головневой Н.А. с коллегами (2018) изучены особенности культивирования пропионовокислых бактерий. В ходе исследований был определён состав питательной среды (среда ПКБ). Исследователи установили, что активность ряда штаммов при культивировании на среде ПКБ с глюкозой была значительно выше, чем на средах, где содержалась молочная кислота. Полученные результаты позволили авторам сделать вывод о высокой биологической активности данных микроорганизмов и определить потенциальные возможности использования этой питательной среды для производства биопрепаратов на основе выбранных штаммов.

В работе Хаевой О.В. и Икоевой Л.П. (2018) рассмотрены результаты по изучению биохимических и культуральных свойств штаммов пропионовокислых бактерий, выделенных из образцов квашеной капусты и томатов. В ходе исследований изучаемых штаммов была установлена их устойчивость к различным агрессивным факторам среды, в т. ч. к низким значениям рН и желчи, что является одним из критериев высокой биологической активности клеток.

Волкова Г. и соавторы (2019) считают важным свойством данных бактерий – способность синтеза витамина В₁₂. Витамин В₁₂ в тканях животных не образуется, синтезируется микрофлорой кишечника. Добавление его к растительным кормам повышает их усвоение и способствует значительному увеличению продуктивности животных и птиц.

Wang Z и Yang ST (2013) указывают, что использование глюкозы вместе с глицеролом на основе их дробного применения даёт возможность ускорить процесс синтеза витамина В₁₂ и пропионовой кислоты при культивировании *P. freudenreichii* subsp. *shermanii*.

Установлено, что синтез пропионовой кислоты у бактерий рода *Propionibacterium* детерминируется за счёт механизма обратной связи. С целью увеличения роста биомассы этих бактерий и дальнейшего синтеза пропионовой кислоты необходимо повышение кислотоустойчивости (Guan N et al., 2014; Guan N et al., 2015).

В животноводстве и птицеводстве для поддержания здоровой микрофлоры желудочно-кишечного тракта, профилактики и лечения патологических состояний кишечника в настоящее время активно используются различные пробиотические препараты на основе живых культур микроорганизмов (Сверчкова Н. и Коломиец Э., 2016). Опыты зарубежных учёных доказывают, что пробиотики повышают уровень иммуноглобулинов в сыворотке крови (Cao GT et al., 2013; Zhang ZF and Kim IH, 2014).

По мнению ряда исследователей (Орлова Т.Н. и Отт Е.Ф., 2019), использование пропионовокисных бактерий в составе пробиотических препаратов для животноводства и птицеводства ограничено в связи с созданием специальных условий для наращивания биомассы этих бактерий, и нехваткой специалистов, имеющих соответствующие компетенции по работе с ними. Исследователями были изучены культуральные свойства многоштаммовой культуры пропионовокисных бактерий (*P. Freudenreichii* subsp. *freudenreichii* и *P. freudenreichii* subsp. *shermanii*) и их способность синтезировать витамин В₁₂, а также проявлять антагонистическую активность по отношению к условно-патогенным микроорганизмам. Результаты исследования показали, что в 1 см³ культуральной жидкости бактерий содержится 1 мкг витамина В₁₂.

Доминирующими антимикробными факторами пропионовокисных бактерий являются пропионовая кислота и пропионаты. Данные микроорганизмы синтезируют бактериоцины, обладающие антимикробной активностью и действующие против других штаммов того же вида или близкородственных видов (Divek VTN and Kollanoor-Johny A, 2016; Piwowarek K et al., 2018).

На сегодняшний день описаны такие бактериоцины пропионовокисных бактерий: пропионицин F, пропионицин T1, пропионицин SM1, пропионицин ПЛГ-1 (Piwowarek K et al., 2018).

В работе Бисеновой Г.Н. и коллег (2016) бактериоцины рассматриваются как потенциальные антимикробные препараты и консерванты, подавляющие рост и развитие патогенных и условно патогенных микроорганизмов. Показана способность бактериоцинов и продуцирующих их штаммов нормализовать микробиоценоз человека и животных посредством избирательного воздействия на микрофлору.

Наиболее оптимальными средами для получения бактериоцинов от пропионовокисных бактерий в условиях лаборатории являются бульон с лактатом натрия, MRS и среда, которая готовится из свёкольной патоки и кукурузной крупы.

Согласно исследованиям учёных (Faye T et al., 2000; Brede DA et al., 2004) необходимо создать оптимальные условия для биосинтеза бактериоцинов и использовать метод, позволяющий эффективно разделять их. Одной из важных задач является концентрация жидкости после культивирования для определения их антимикробной активности. Большинство бактериоцинов, производимых пропионовокисными микроорганизмами, обладают антагонистическими свойствами по отношению к видам *Propionibacterium* и *Lactobacillus*.

Cintas LM с соавторами (2001) указывают на переменные действия бактериоцинов на некоторые родственные штаммы, которые в свою очередь зависят от степени родства штамма и его чувствительности. На активность бактериоцинов оказывают влияние также дозировка, глубина очистки, фаза роста чувствительных клеток, pH и температура.

В основном бактериоцины пропионовокисных бактерий – низкомолекулярные белки с молекулярной массой 10000 Да (Дальтон), кроме пропионицина SM1 (20 000 Да). Согласно литературным данным, некоторые бактериоцины (пропионицин ПЛГ-1) устойчивы при длительном хранении, сохраняя активность до 25 недель (при температурах от +4 до -25 °С). Данные показатели доказывают полезность бактериоцинов пропионовокисных бактерий в производстве и консервировании пищевых продуктов (Ratnam P et al., 1999; Ben-Shushan G et al., 2003).

В работе Волковой Г. и соавторов (2019) изучены антимикробные свойства производственных штаммов молочнокислых и пропионовокисных бактерий. Высокий уровень совместимости этих штаммов является ключевым фактором их применения для совместного культивирования в составе пробиотиков. Исследуемые штаммы синтезируют преимущественно бактериоциноподобные вещества. Учёными предложены три полиштаммовых группы бактерий, которые обладают

указанными свойствами, на основе их разработаны специальные препараты для консервирования и силосования кормов.

Пропионовокислые бактерии используются в биотехнологической промышленности при получения пропионовой кислоты, в качестве консерванта пищи и в кормопроизводстве при заготовки зерна и зелёных кормов. Однако эффективность индустриального производства данных микроорганизмов ограничивается сильной чувствительностью к высоким концентрациям в среде пропионовой кислоты (Brede DA et al., 2004).

Препараты на основе производных пропионокислых микроорганизмов получили практическое применение в кормопроизводстве, поскольку обладают хорошо выраженным противогрибковым действием, что обусловило их широкое использование при хранении сена, зерна и комбикормов (Кургузкин В.Н. и Саранчина Е.Ф., 2013).

Ряд компаний-производителей кормовых добавок и биоконсервантов активно используют данные субстраты в технологическом процессе выпуска своей продукции. Например, ведущий мировой концерн BASF, крупнейший в мире производитель муравьиной и пропионовой кислот, обосновывает возможность сохранения до одного года консервирующего действия пропионовой кислоты при заготовке кормов.

Компания Taminco Finland разработала новый продукт – монопрепарат «Пропионикс ПЛЮС» для сена в рулонах и фуражного зерна, содержащий 94,1 % пропионовой кислоты и 5,4 % – пропионата аммония. Биовет-Закваска от компании НПФ «Биовет» включает два комплекса живых культур, в том числе *Propionibacterium freudenreichii*. В препаратах российской компании «БИОТРОФ» также нашли широкое применение производные пропионокислых микроорганизмов (Лавренова В., 2019).

Для нормализации рубцового пищеварения и профилактики ацидозов ряд исследователей рекомендует использовать пропионовокислые бактерии (ПКБ) штаммов – *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* R 15 и *Pr. freudenreichii* subsp. *shermanii* AR 16 (Головнева Н.А. и др., 2018). Так, Головнева Н.А. и соавторы (2021), исследуя культуральную жидкость, содержащую клетки этих двух штаммов, получили кормовую добавку Румибакт с содержанием жизнеспособных лиофилизированных пропионовокислых бактерий (ПКБ) в 1 г $1,2 \times 10^{12}$ КОЕ. Результаты исследований показали эффективность данной кормовой добавки. Авторы указывают, что использование её в составе комбикорма для дойных коров способствует повышению уровня жира в молоке на 0,29 п. п., белка – на 0,11 п. п., а также увеличению среднесуточного надоя молока на 2,35 % по сравнению с контролем.

Исследования Москаленко Е.А. и Забашта Н.Н. (2019) посвящены изучению влияния молочнокислой закваски на формирование кишечного микробиоценоза, роста и сохранность свиней. Полученные результаты указывают на возможности увеличения среднесуточного прироста живой массы при использовании закваски на основе лакто- и пропионовокислых бактерий в кормлении свиней.

Зарубежные учёные сообщают об использовании в рационах кисломолочных продуктов с пробиотическими штаммами бактерий, включая лактобактерии, бифидобактерии и пропионовокислые, в целях предупреждения развития различных заболеваний желудочно-кишечного тракта не только животных, но и человека (Marco ML et al., 2017; Macori G and Cotter PD., 2018).

В работе Бегунова А.В. и соавторов (2019) представлены результаты исследований по созданию комбинированной закваски на основе ряда подобранных штаммов. Данный препарат представляет собой кисломолочный продукт, обладающий выраженным антагонистическим действием по отношению к патогенным, условно-патогенным микроорганизмам, а также оказывающий пробиотическое и гипотензивное действия. Исследователями установлен усиленный рост пропионовокислых бактерий и увеличение количества жизнеспособных клеток в данном продукте при внесении в молоко с низкой массовой долей жирности гидролизатов сывороточных белков.

В последние годы отмечен большой интерес со стороны потребителей к продуктам питания, произведённым без использования различных химических консервантов. В этой связи были

проведены исследования по разработке биологических методов сохранения продукции пищевой промышленности. Одним из наиболее оправданных практических решений следует выделить бактериальные метаболиты, которые проявляют ярко выраженную антимикробную активность и поэтому выступают в качестве альтернативы различным химическим соединениям, используемым в качестве консервантов. Согласно литературным данным, эти соединения не являются токсичными для организма человека и разлагаются в желудочно-кишечном тракте за счёт своей высокой чувствительности к воздействию пепсина и трипсина (Cabo ML et al., 2001; Cleveland J et al., 2001).

В работе Арифиллиной Л.Р. и Волковой Г.С. (2018) подробно исследованы факторы, влияющие на создание штаммов молочнокислых и пропионовокислых бактерий, которые необходимы для получения консорциума микроорганизмов с наивысшей выработкой бактериоцинов. Исследования показали возможности использования как биомассы микроорганизмов бактерий селективных штаммов, так и культуральной жидкости отдельно в целях получения защитно-профилактических препаратов. При этом интенсивный рост бактерий и синтез пропионовой кислоты происходит быстрее на среде с лактатом натрия или кальция. Установлены выраженные антимикробные свойства исследуемых культур в отношении бактериальных форм микроорганизмов, дрожжей и плесневых грибов. Показано, что совместное культивирование изучаемых микроорганизмов позволяет сократить период синтеза на 48 часов и увеличить выход кислот на 55,4 % по сравнению с культивированием только пропионовокислых бактерий.

Олейникова Е.А. и соавторы (2017) сообщают, что использование пропионовокислых бактерий позволяет повысить сроки хранения кисломолочной продукции и даёт возможность обогатить их живыми клетками пробиотических микроорганизмов и витамином В₁₂. По мнению исследователей, данная особенность предопределяет высокий потенциал для использования в пищевой промышленности и предотвращении порчи продуктов сбраживания молока и сыворотки.

В перспективе бактериоцины, продуцируемые *Propionibacterium*, могут активно использоваться как ингибирующие вещества, направленные на подавление развития условно-патогенных микроорганизмов в различных пищевых, косметических и фармацевтических продуктах. На сегодняшний день данные исследования являются очень актуальными, изучаются различные способы направленного биосинтеза бактериоцинов для получения разных модификаций бактериоцинов и бактериоциногенных комплексов с более ценными свойствами для практического их применения в промышленном животноводстве и птицеводстве (Арифиллина Л.Р. и Волкова Г.С., 2018).

Заключение.

В настоящее время, наряду с молочнокислыми бактериями, большое внимание различных исследователей уделено менее изученным, но уже нашедшим практическое применение пропионовокислым бактериям, которые находят широкое применение не только в микробиологии и биотехнологии, но и в различных отраслях промышленности. Представляет особый интерес создание консорциумов пропионовокислых и молочнокислых бактерий для разработки биологически активных биодобавок с целью коррекции нарушений пищеварения и обмена веществ в организме и получения новых данных по пробиотическим штаммам.

Важной характеристикой данных микроорганизмов является витаминизирующее, иммуностимулирующее, антимуtagenное действие, способность снижать токсическое действие ультрафиолета, а также химических соединений. Данные особенности обуславливают широкие возможности для дальнейшего практического использования и тем самым определяют научно-практическую значимость активизации исследований в этом направлении.

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. Белобородова Н.В., Белобородов С.М. Метаболиты анаэробных бактерий (летучие жирные кислоты) и реактивность макроорганизма // Антибиотики и химиотерапия. 2000. № 2. С. 28-36. [Beloborodova NV, Beloborodov SM. Metabolites anaerobic bacteria (volatile fatty acids) and reactivity of macroorganism. Antibiotics and Chemotherapy. 2000;2:28-36. *(In Russ.)*].

3. Влияние комбинированного селен-содержащего пробиотического препарата на показатели роста и состояние кишечного микробиоценоза свиней / Н.Э. Скобликов, Т.К. Кузнецова, А.Ф. Глазов, Н.Г. Ижевская, Е.А. Денисенко, Е.А. Москаленко // Научные основы повышения продуктивности сельскохозяйственных животных: сб. науч. тр. Краснодар: ГНК СКНИИЖ РАСХН, 2009. Ч. 2. С. 228-229. [Skoblikov NE, Kuznetsova TK, Glazov AF, Izhevsk NG, Denisenko EA, Moskalenko EA. Vliyanie kombinirovannogo selen-soderzhashhego probioticheskogo preparata na pokazateli rosta i sostojanie kishhechnogo mikrobiocenoza svinej. Nauchnye osnovy povysheniya produktivnosti sel'skhozjajstvennyh zhivotnyh: sb. nauch. tr. Krasnodar: GNK SKNIIZh RASHN. 2009;2:228-229. *(In Russ.)*].

4. Волкова Г., Куксова Е., Серба Е. Использование пробиотических бактерий в кормопроизводстве // Комбикорма. 2019. № 6. С. 55-56. [Volkova G, Kuksova E, Serba E. Ispol'zovanie probioticheskikh bakterij v kormoproizvodstve. Compound Feed. 2019;6:55-56. *(In Russ.)*]. doi: 10.25741/2413-287X-2019-06-3-074

5. Воробьева Л.И. Пропионовокислые бактерии. М.: Изд-во МГУ, 1995. 288 с. [Voro-b'eva LI. Propionovokislые bakterii. Moscow: Izd-vo MGU; 1995:288 p. *(In Russ.)*].

6. Изучение бактериоцин-продуцирующей активности изолятов и коллекционных культур молочнокислых бактерий / Г.Н. Бисенова, З.С. Сармурзина, К.Х. Алмагамбетов, А.К. Торина, А.Ж. Борибаева // Новости науки Казахстана. 2016. № 1(127). С. 86-98. [Bisenova GN, Sarmurzina ZS, Almagambetov KKh, Torina AK, Boribayeva AZh. Izuchenie bakteriocin-producirujushhej aktivnosti izoljatov i kollekc-ionnyh kul'tur molochnokislyh bakterij. News of Kazakhstan Science. 2016;1(127):86-98. *(In Russ.)*].

7. Исаева А.В. Пропионовокислые бактерии и их особенности // Международный академический вестник. 2018. № 3(23). С. 64-66. [Isaeva AV. Propionovokislые bakterii i ih osobennosti. Mezhdunarodnyj akademicheskij vestnik. 2018;3(23):64-66. *(In Russ.)*].

8. Использование пропионовокислых бактерий для повышения пищевой и биологической ценности и сохранности кисломолочных продуктов / Е.А. Олейникова, Т.В. Кузнецова, М.Г. Саубенова, Л.Т. Райымбекова, М.М. Шорманова, А.А. Айтжанова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 10-1. С. 94-97. [Oleynikova EA, Kuznetsova TV, Saubenova MG, Rayymbekova LT, Shormanova MM, Aytzhanova AA. Propionibacteria in preservation of dairy products and increasing its nutritional and biological value. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2017;10(1):94-97. *(In Russ.)*].

9. Исхакова А.Р. Эффективность использования пробиотиков при выращивании гусят-бройлеров // Российский электронный научный журнал. 2016. № 1(19). С. 230-238. [Iskhakova AR. Efficient use of probiotics in gosling broiler breeding. Russian Electronic Scientific Journal. 2016;1(19):230-238. *(In Russ.)*].

10. Кормовая добавка на основе пропионовокислых бактерий для коррекции рубцового пищеварения / Н.А. Головнева, Н.Е. Рябая, А.Н. Морозова, А.А. Самарцев, А.Н. Михалюк // Биотехнология: достижения и перспективы развития: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., (г. Пинск, 25-26 нояб. 2021 г.). Пинск: ПолесГУ, 2021. С. 65-67. [Golovneva NA, Rjabaja NE, Morozova AN, Samarcev AA, Mihaljuk AN. Kormovaja dobavka na osnove propionovokislых bakterij dlja korrekcii rubcovogo pishhevarenija (Conference proceedings) Biotehnologija: dostizhenija i perspektivy razvitija: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (g. Pinsk, 25-26 nojab. 2021 g.). Pinsk: PolesGU; 2021:65-67. *(In Russ.)*].

11. Кузнецова Т.В., Халымбетова А.Е., Саубенова М.Г. Выделение и селекция пропионовокислых бактерий, обладающих антагонистической активностью // Actualscience. 2015. Т. 1. № 2(2). С. 19-20. [Kuznetsova TV, Khalymbetova AE, Saubenova MG. Solation and selection propionic acid bacteria having an antagonistic activity. Actualscience. 2015;1(2-2):19-20. (In Russ.)].
12. Кургузкин В.Н., Саранчина Е.Ф. Инновационная технология использования биологических препаратов для консервирования кормов // Наука в центральной России. 2013. № 4. С. 49-51. [Kurguzkin VN, Saranchina EF. Innovative technology of use of biological preparations for conservation of forages. Science in Central Russia. 2013;4:49-51. (In Russ.)].
13. Лавренова В. Консерванты для животноводства. [Электронный ресурс]. Текнофид: [сайт]. 2019. URL: <https://teknofeed.org/2019/06/25/preservatives-for-livestock/> (дата обращения 28.08.2023). [Lavrenova V. Konservanty dlja zhivotnovodstva. [Elektronnyi resurs]. Teknofid: [sait]. 2019. URL: <https://teknofeed.org/2019/06/25/preservatives-for-livestock/> (data obrashhenija 28.08.2023). (In Russ.)].
14. Микробиологическая защита пшеничного хлеба с использованием трофической цепи *Lactobacillus delbrueckii* и *Propionibacterium freudenreichii* / Е.П. Рыжкова, Ли Хао, Т.В. Быковченко, И.В. Данилова, Р.Д. Поладова // Биотехнология. 2009. № 2. С. 29-37. [Ryzhkova EP, Hao Li, Bykovchenko TV, Danilova IV, Polandova RD. Microbiological protection of wheat bread using a trophic chain of *Lactobacillus delbrueckii* and *Propionibacterium freudenreichii*. Biotechnology. 2009;2:29-37. (In Russ.)].
15. Молочнокислые и пропионовокислые бактерии: формирование сообщества для получения функциональных продуктов с бифидогенными и гипотензивными свойствами / А.В. Бегунова, И.В. Рожкова, Е.А. Зверева, О.А. Глазунова, Т.В. Фёдорова // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. Т.55. № 6. С. 566-577. [Begunova AV, Rozhkova IV, Zvereva EA, Glazunova OA, Fedorova TV. Lactic and propionic acid bacteria: the formation of a community for the production of functional products with bifidogenic and hypotensive properties. Applied Biochemistry and Microbiology. 2019;55(6):566-577. (In Russ.)]. doi:10.1134/S0555109919060047
16. Москаленко Е.А., Забашта Н.Н. Применение лакто- и пропионовокислых бактерий в кормлении свиней // Сборник научных трудов КНИЦЗВ. 2019. Т. 8. № 1. С. 206-211. [Moskalenko EA, Zabashta NN. Application of lactobacilli and bacteria of propionic acid in nutrition of pigs. Collection of scientific papers of KRCANVM. 2019;8(1):206-211. (In Russ.)]. doi: 10.34617/ccdv-n571
17. Орлова Т. Изучение биологической активности пропионовокислых бактерий // The Scientific Heritage. 2021. № 79(2). С. 31-33. [Orlova T. The study of the biological activity of propionic acid bacteria. The Scientific Heritage. 2021;79(2):31-33. (In Russ.)]. doi: 10.24412/9215-0365-2021-79-2-31-33
18. Орлова Т.Н., Отт Е.Ф. Возможность использования пропионовокислых бактерий в рационах сельскохозяйственных животных и птиц в качестве источника витамина В₁₂. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 8(178). С. 135-138. [Orlova TN, Ott EF. The possibility of using propionic bacteria in farm animal and poultry diets as a source of vitamin B₁₂. Bulletin of Altai State Agricultural University. No. 2019;8(178):135-138. (In Russ.)].
19. 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 навука», 2018. Т. 10. С. 32-44. [Golovneva NA., Ryabaya NE, Morozova AN, Samartsev AA. Osobennosti kul'tivirovaniya propionovokislyh bakterij – komponentov biopreparatov. Mikrobnnye biotehnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty: sb. nauch. tr. Minsk: RUP «Izdatel'skij dom «Belaruskaja navuka». 2018;10:32-44. (In Russ.)].
20. 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.)].
21. Хаева О.Э., Икоева Л.П. Выделение и изучение устойчивости пропионовокислых бактерий к кислотному стрессу // Известия Горского государственного аграрного университета.

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.)].

22. Хамагаева И.С., Бояринева И.В., Потапчук Н.Ю. Исследование пробиотических свойств комбинированной закваски // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 1(28). С. 54-58. [Khamagaeva IS, Boyarinea IV, Potapchuk NYu. The study of probiotic properties of combined starter. Food Processing: Techniques and Technology. 2013;1(28):54-58. (In Russ.)].

23. Характеристика и стрессозащитное действие внеклеточных пептидных факторов *Saccharomyces cerevisiae* на пропионовокислые бактерии / Л.И. Воробьева, Е.А. Рогожин, Е.Ю. Ходжаев, Р.А. Володяшкин, В.А. Самойленко // Микробиология. 2017. Т. 86. № 6. С. 684-695. [Vorob'eva LI, Rogozhin EA, Khodzhaev EYu, Volodyazhkin RA, Samoynkov VA. Characterization and stress-protective action of saccharomyces cerevisiae extracellular peptide factors on propionic acid bacteria. Mikrobiologiya. 2017;86(6):684-695. (In Russ.)]. doi: 10.7868/S0026365617060155

24. Ben-Shushan G, Zakin V, Gollop N. Two different propioninins produced by *Propionibacterium thoenii* P-127. Peptides. 2003;24(11):1733-1740. doi: 10.1016/j.peptides.2003.08.018

25. Borawska J, Warmińska-Radyko I, Darewicz M. Charakterystyka i znaczenie bakterii rodzaju *Propionibacterium* w produkcji żywności i pasz. Med Wet. 2010;66(8):534-537.

26. Brede DA, Faye T, Johnsborg O, Odegard I, Nes IF, Holo H. Molecular and genetic characterization of propionin F, a bacteriocin from *Propionibacterium freudenreichii*. Appl Environ Microbiol. 2004;70(12):7303-7310. doi:10.1128/AEM.70.12.7303-7310.2004

27. Cabo ML, Murado MA, González MP, Pastoriza L. Effects of aeration and pH gradient on nisin production. A mathematical model. Enzym Microb Technol. 2001;29(4-5):264-273. doi: 10.1016/S0141-0229(01)00378-7

28. Cao GT, Zeng XF, Chen AG, Zhou L, Zhang L, Xiao YP, Yang CM. Effects of a probiotic, *Enterococcus faecium*, on growth performance, intestinal morphology, immune response, and caecal microflora in broiler chickens challenged with *Escherichia coli* K88. Poultry Science. 2013;92(11):2949-2955. doi: 10.3382/ps.2013-03366

29. Cintas LM, Casaus P, Herranz C, Nes IF, Hernandez PE. Review: bacteriocins of lactic acid bacteria. Food Sci Tech Int. 2001;7(4):281-305. doi: 10.1106/R8DE-P6HU-CLXP-5RYT

30. Cleveland J, Montville T, Nes IF, Chikindas ML. Bacteriocins: safe, natural antimicrobials for food preservation. Int J Food Microbiol. 2001;71(1):1-20. doi: 10.1016/S0168-1605(01)00560-8

31. Crofts TS, Erica C Seth, Amrita B Hazra, Michiko E Taga. Cobamide structure depends on both lower ligand availability and CobT substrate specificity. Chem Biol. 2013;20(10):1265-1274. doi: 10.1016/j.chembiol.2013.08.006

32. Divek VTN, Kollanoor-Johny A. Effect of *Propionibacterium freudenreichii* on salmonella multiplication, motility, and association with avian epithelial cells. Poult Sci. 2016;96(5):1376-1386. doi: 10.3382/ps/pew367

33. Faye T, Langsrud T, Nes IF, Holo H. Biochemical and genetic characterization of propionin T1, a new bacteriocin from *Propionibacterium thoenii*. Appl Environ Microbiol. 2000;66(10):4230-4236. doi: 10.1128/AEM.66.10.4230-4236.2000

34. Foligne B, Deutsch S-M, Breton J, Cousin FJ, Dewulf J, Pot B, Jan G. Promising immunomodulatory effects of selected strains of dairy propionibacteria as evidenced in vitro and in vivo. Appl Environ Microbiol. 2010;76(24):8259-8264. doi: 10.1128/AEM.01976-10

35. Gabriela Z. Dairy propionibacteria: less conventional probiotics to improve the human and animal health. In: Rigobelo EC, editor. Probiotic in Animals. InTech; 2012:153-202. doi: 10.5772/50320

36. Guan N, Shin Hyun-dong, Chen RR, Li J, Liu L, Du G, Chen J. Understanding of how *Propionibacterium acidipropionici* respond to propionic acid stress at the level of proteomics. Sci Rep 2014;695:1-8. doi: 10.1038/srep06951

37. Guan N, Zhuge X, Li J, Shin Hyun-Dong, Wu J et al. Engineering propionibacteria as versatile cell factories for the production of industrially important chemicals: advances, challenges, and prospects. Appl Microbiol Biotechnol. 2015;99(2):585-600. doi: 10.1007/s00253-014-6228-z

38. Kekkonen RA, Lummela N, Karjalainen H, Latvala S, Tynkkynen S, Jarvenpaa S, Kautiainen H, Julkunen I, Vapaatalo H, Korpela R. Probiotic intervention has strain-specific anti-inflammatory effects in healthy adults. *World J Gastroenterol.* 2008;14(13):2029-2036. doi: 10.3748/wjg.14.2029
39. Macori G, Cotter PD. Novel insights into the microbiology of fermented dairy foods. *Curr Opin Biotechnol.* 2018;49:172-178. doi: 10.1016/j.copbio.2017.09.002
40. Marco ML, Heeney D, Binda S, Cifelli CJ, Cotter PD, Foligne B, Ganzle M, Kort R, Pasin G, Pihlanto A, Smid EJ, Hutkins R. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Curr Opin Biotechnol.* 2017;44:94-102. doi: 10.1016/j.copbio.2016.11.010
41. Marechal CL, Peton V, Ple C et al. Surface proteins of *Propionibacterium freudenreichii* are involved in its anti-inflammatory properties. *Journal of Proteomics.* 2015;113:447-461. doi: 10.1016/j.jprot.2014.07.018
42. Meile L, Gwenaelle LB, Thierry A. Safety assessment of dairy microorganisms: *Propionibacterium* and *Bifidobacterium*. *Int J Food Microbiol.* 2008;126(3):316-320. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2007.08.019
43. Piwowarek K, Lipinska E, Hac-Szymanczuk E, Kieliszek M, Ścibisz I. *Propionibacterium* spp. – source of propionic acid, vitamin B12 and other metabolites important for the industry. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2018;102(2):515-538. doi: 10.1007/s00253-017-8616-7
44. Poonam, Sarang DP, Sudhir KT, Sachinandan De, Rameshwar S. Multifaceted attributes of dairy propionibacteria: a review. *World J Microbiol Biotechnol.* 2012;11(28):3081-3095. doi: 10.1007/s11274-012-1117-z
45. Ranadheera RDCS, Baines SK, Adams MC. Importance of food in probiotic efficacy. *Food Research International.* 2010;43:1-7. doi: 10.1016/j.foodres.2009.09.009
46. Ratnam P, Barefoot SF, Prince LD, Bodine AB, McCaskill LH. (1999) Partial purification and characterization of a bacteriocin produced by *Propionibacterium jensenii* B1264. *Le Lait.* 1999;79(1):125-136. doi: 10.1051/lait:1999110
47. Santos F, Vera JL, Valdez GF et al. Pseudovitamin B12 is the corrinoid produced by *Lactobacillus reuteri* CRL1098 under anaerobic conditions. *FEBS Lett.* 2007;581(25):4865-4870. doi: 10.1016/j.febslet.2007.09.012
48. Seo JK, Kim S-W, Santi, et al. Direct-fed Microbials for Ruminant Animals. *Asian-Aust Anim Sci.* 2010;23(12):1657-1667. doi: 10.5713/ajas.2010.r.08
49. Wang Z, Yang ST. Propionic acid production in glycerol/glucose co-fermentation by *Propionibacterium freudenreichii subsp. Shermanii*. *Bioresour Technol.* 2013;137:116-123. doi: 10.1016/j.biortech.2013.03.012
50. 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. Beloborodova NV, Beloborodova SM. The metabolites of anaerobic bacteria (volatile fatty acids) and the reactivity of the macroorganism. *Antibiotics and Chemotherapy.* 2000;2:28-36.
3. Skoblikov NE, Kuznetsova TK, Glazov AF, Izhevsk NG, Denisenko EA, Moskalenko EA. Effect of combined selenium-containing probiotic preparation on growth performance and intestinal microbiocenosis of pigs. *Scientific bases of increasing productivity of agricultural animals: a collection of scientific works Krasnodar: North Caucasus Research Institute of Animal Husbandry of RAAS.* 2009;2:228-229.

4. Volkova G, Kuksova E, Serba E. Use of probiotic bacteria in forage production. *Compound Feed*. 2019;6:55-56. doi: 10.25741/2413-287X-2019-06-3-074
5. Vorob'eva LI. Propionic acid bacteria. Moscow: MSU publishing house; 1995:288 p.
6. Bisenova GN, Sarmurzina ZS, Almagambetov KKh, Torina AK, Boribayeva AZh. Study of bacteriocin-producing activity of isolates and collection cultures of lactic acid bacteria. *News of Kazakhstan Science*. 2016;1(127):86-98.
7. Isaeva AV. Propionic acid bacteria and their peculiarities. *International Academic Bulletin*. 2018;3(23):64-66.
8. Oleynikova EA, Kuznetsova TV, Saubenova MG, Rayymbekova LT, Shormanova MM, Aytzhanova AA. Propionibacteria in preservation of dairy products and increasing its nutritional and biological value. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2017;10(1):94-97.
9. Iskhakova AR. Efficient use of probiotics in gosling broiler breeding. *Russian Electronic Scientific Journal*. 2016;1(19):230-238.
10. Golovneva NA, Rjabaja NE, Morozova AN, Samarcev AA, Mihaljuk AN. Feed additive based on propionic acid bacteria for correction of rumen digestion (Conference proceedings) *Biotechnology: Achievements and prospects of development: materials of the V International Scientific and Practical Conference, (Pinsk, 25-26 November 2021)*. Pinsk: PolesSU; 2021:65-67.
11. Kuznetsova TV, Khalymbetova AE, Saubenova MG. Isolation and selection propionic acid bacteria having an antagonistic activity. *Actualscience*. 2015;1(2-2):19-20.
12. Kurguzkin VN, Saranchina EF. Innovative technology of use of biological preparations for conservation of forages. *Science in Central Russia*. 2013;4:49-51.
13. Lavrenova V Preservatives for livestock production. [Electronic resource]. Teknofid: [internet]. [2019]. Available from: <https://teknofeed.org/2019/06/25/preservatives-for-livestock/> (cited 2023 Aug 28).
14. Ryzhkova EP, Hao Li, Bykovchenko TV, Danilova IV, Polandova RD. Microbiological protection of wheat bread using a trophic chain of *Lactobacillus delbrueckii* and *Propionibacterium freudenreichii*. *Biotechnology*. 2009;2:29-37.
15. Begunova AV, Rozhkova IV, Zvereva EA, Glazunova OA, Fedorova TV. Lactic and propionic acid bacteria: the formation of a community for the production of functional products with bifidogenic and hypotensive properties. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2019;55(6):566-577. doi: 10.1134/S0555109919060047
16. Moskalenko EA, Zabashta NN. Application of lactobacilli and bacteria of propionic acid in nutrition of pigs. *Collection of scientific papers of KRCAHVM*. 2019;8(1):206-211. doi: 10.34617/ccdv-n571
17. Orlova T. The study of the biological activity of propionic acid bacteria. *The Scientific Heritage*. 2021;79(2):31-33. doi: 10.24412/9215-0365-2021-79-2-31-33
18. Orlova TN, Ott EF. The possibility of using propionic bacteria in farm animal and poultry diets as a source of vitamin B₁₂. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. No. 2019;8(178):135-138.
19. Golovneva NA., Ryabaya NE, Morozova AN, Samartsev AA. Features of cultivation of propionic acid bacteria - components of biopreparations. *Microbial biotechnology: fundamental and applied aspects: a collection of scientific articles* Minsk: RUE «Izdatel'skij dom «Belaruskaja navuka». 2018;10:32-44.
20. Sverchkova N, Kolomiets E. Probiotic preparations for veterinary and feed production. *Science and Innovations*. 2016;5(159):38-39.
21. 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.
22. Khamagaeva IS, Boyarineva IV, Potapchuk NYu. The study of probiotic properties of combined starter. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2013;1(28):54-58.

23. Vorob'eva LI, Rogozhin EA, Khodzhaev EYu, Volodyazhkin RA, Samoylenkov VA. Characterization and stress-protective action of *saccharomyces cerevisiae* extracellular peptide factors on propionic acid bacteria. *Microbiology*. 2017;86(6):684-695. doi: 10.7868/S0026365617060155
24. Ben-Shushan G, Zakin V, Gollop N. Two different propionics produced by *Propionibacterium thoenii* P-127. *Peptides*. 2003;24(11):1733-1740. doi: 10.1016/j.peptides.2003.08.018
25. Borawska J, Warمیńska-Radyko I, Darewicz M. Charakterystyka i znaczenie bakterii rodzaju *Propionibacterium* w produkcji żywności i pasz. *Med Wet*. 2010;66(8):534-537.
26. Brede DA, Faye T, Johnsborg O, Odegard I, Nes IF, Holo H. Molecular and genetic characterization of propionicin F, a bacteriocin from *Propionibacterium freudenreichii*. *Appl Environ Microbiol*. 2004;70(12):7303-7310. doi:10.1128/AEM.70.12.7303-7310.2004
27. Cabo ML, Murado MA, González MP, Pastoriza L. Effects of aeration and pH gradient on nisin production. A mathematical model. *Enzym Microb Technol*. 2001;29(4-5):264-273. doi: 10.1016/S0141-0229(01)00378-7
28. Cao GT, Zeng XF, Chen AG, Zhou L, Zhang L, Xiao YP, Yang CM. Effects of a probiotic, *Enterococcus faecium*, on growth performance, intestinal morphology, immune response, and caecal microflora in broiler chickens challenged with *Escherichia coli* K88. *Poultry Science*. 2013;92(11):2949-2955. doi: 10.3382/ps.2013-03366
29. Cintas LM, Casaus P, Herranz C, Nes IF, Hernandez PE. Review: bacteriocins of lactic acid bacteria. *Food Sci Tech Int*. 2001;7(4):281-305. doi: 10.1106/R8DE-P6HU-CLXP-5RYT
30. Cleveland J, Montville T, Nes IF, Chikindas ML. Bacteriocins: safe, natural antimicrobials for food preservation. *Int J Food Microbiol*. 2001;71(1):1-20. doi: 10.1016/S0168-1605(01)00560-8
31. Crofts TS, Erica C Seth, Amrita B Hazra, Michiko E Taga. Cobamide structure depends on both lower ligand availability and CobT substrate specificity. *Chem Biol*. 2013;20(10):1265-1274. doi: 10.1016/j.chembiol.2013.08.006
32. Divek VTN, Kollanoor-Johny A. Effect of *Propionibacterium freudenreichii* on salmonella multiplication, motility, and association with avian epithelial cells. *Poult Sci*. 2016;96(5):1376-1386. doi: 10.3382/ps/pew367
33. Faye T, Langsrud T, Nes IF, Holo H. Biochemical and genetic characterization of propionicin T1, a new bacteriocin from *Propionibacterium thoenii*. *Appl Environ Microbiol*. 2000;66(10):4230-4236. doi:10.1128/AEM.66.10.4230-4236.2000
34. Foligne B, Deutsch S-M, Breton J, Cousin FJ, Dewulf J, Pot B, Jan G. Promising immunomodulatory effects of selected strains of dairy propionibacteria as evidenced in vitro and in vivo. *Appl Environ Microbiol*. 2010;76(24):8259-8264. doi: 10.1128/AEM.01976-10
35. Gabriela Z. Dairy propionibacteria: less conventional probiotics to improve the human and animal health. In: Rigobelo EC, editor. *Probiotic in Animals*. InTech; 2012:153-202. doi: 10.5772/50320
36. Guan N, Shin Hyun-dong, Chen RR, Li J, Liu L, Du G, Chen J. Understanding of how *Propionibacterium acidipropionici* respond to propionic acid stress at the level of proteomics. *Sci Rep* 2014;695:1-8. doi: 10.1038/srep06951
37. Guan N, Zhuge X, Li J, Shin Hyun-Dong, Wu J et al. Engineering propionibacteria as versatile cell factories for the production of industrially important chemicals: advances, challenges, and prospects. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2015;99(2):585-600. doi: 10.1007/s00253-014-6228-z
38. Kekkonen RA, Lummela N, Karjalainen H, Latvala S, Tynkkynen S, Jarvenpaa S, Kautiainen H, Julkunen I, Vapaatalo H, Korpela R. Probiotic intervention has strain-specific anti-inflammatory effects in healthy adults. *World J Gastroenterol*. 2008;14(13):2029-2036. doi: 10.3748/wjg.14.2029
39. Macori G, Cotter PD. Novel insights into the microbiology of fermented dairy foods. *Curr Opin Biotechnol*. 2018;49:172-178. doi: 10.1016/j.copbio.2017.09.002
40. Marco ML, Heeney D, Binda S, Cifelli CJ, Cotter PD, Foligne B, Ganzle M, Kort R, Pasin G, Pihlanto A, Smid EJ, Hutkins R. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Curr Opin Biotechnol*. 2017;44:94-102. doi: 10.1016/j.copbio.2016.11.010

41. Marechal CL, Peton V, Ple C et al. Surface proteins of *Propionibacterium freudenreichii* are involved in its anti-inflammatory properties. *Journal of Proteomics*. 2015;113:447-461. doi: 10.1016/j.jprot.2014.07.018
42. Meile L, Gwenaelle LB, Thierry A. Safety assessment of dairy microorganisms: *Propionibacterium* and *Bifidobacterium*. *Int J Food Microbiol*. 2008;126(3):316-320. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2007.08.019
43. Piwowarek K, Lipinska E, Hac-Szymanczuk E, Kieliszek M, Ścibisz I. *Propionibacterium* spp. – source of propionic acid, vitamin B12 and other metabolites important for the industry. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2018;102(2):515-538. doi: 10.1007/s00253-017-8616-7
44. Poonam, Sarang DP, Sudhir KT, Sachinandan De, Rameshwar S. Multifaceted attributes of dairy propionibacteria: a review. *World J Microbiol Biotechnol*. 2012;11(28):3081-3095. doi: 10.1007/s11274-012-1117-z
45. Ranadheera RDCS, Baines SK, Adams MC. Importance of food in probiotic efficacy. *Food Research International*. 2010;43:1-7. doi: 10.1016/j.foodres.2009.09.009
46. Ratnam P, Barefoot SF, Prince LD, Bodine AB, McCaskill LH. (1999) Partial purification and characterization of a bacteriocin produced by *Propionibacterium jensenii* B1264. *Le Lait*. 1999;79(1):125-136. doi: 10.1051/lait:1999110
47. Santos F, Vera JL, Valdez GF et al. Pseudovitamin B12 is the corrinoid produced by *Lactobacillus reuteri* CRL1098 under anaerobic conditions. *FEBS Lett*. 2007;581(25):4865-4870. doi: 10.1016/j.febslet.2007.09.012
48. Seo JK, Kim S-W, Santi, et al. Direct-fed Microbials for Ruminant Animals. *Asian-Aust Anim Sci*. 2010;23(12):1657-1667. doi: 10.5713/ajas.2010.r.08
49. Wang Z, Yang ST. Propionic acid production in glycerol/glucose co-fermentation by *Propionibacterium freudenreichii subsp. Shermanii*. *Bioresour Technol*. 2013;137:116-123. doi: 10.1016/j.biortech.2013.03.012
50. 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 for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk district, Moscow region, 142132, 60, tel.: 8(4967)651133.

Статья поступила в редакцию 25.09.2023; одобрена после рецензирования 12.10.2023; принята к публикации 11.12.2023.

The article was submitted 25.09.2023; approved after reviewing 12.10.2023; accepted for publication 11.12.2023.