
ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

**Решения для здоровья кишечника – новое направление
в кормлении моногастричных животных (обзор)**

Николай Петрович Буряков[✉], Виктор Викторович Менберг

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

[✉]**Автор, ответственный за переписку:** n.buryakov@rgau-msha.ru

Аннотация

Генетический потенциал моногастричных животных можно реализовать только в результате слаженной работы желудочно-кишечного тракта, в котором происходит не только переваривание и всасывание компонентов рациона, но и обеспечение защиты организма от вредной микрофлоры. На функционирование кишечника ежедневно требуется до 40% протеина и энергии суточного количества комбикорма, так как в организме животных наблюдают быстрый оборот и смену энтероцитов, которые обновляются через каждые три дня. В статье рассмотрены актуальные аспекты использования пробиотиков, пребиотиков и комплексных препаратов на основе масляной кислоты в современных условиях промышленного свиноводства и птицеводства. Изучено действие пробиотиков различного состава на микрофлору желудочно-кишечного тракта моногастричных животных. Показано влияние кормовых добавок на повышение резистентности животных к заболеваниям кишечника путем ингибирования колонизации кишечными патогенами, повышения иммунитета, доступности питательных веществ рациона для птицы и свиней. Проведен детальный анализ механизма действия масляной кислоты в чистом виде, а также ее защищенных форм: бутиратов и триглицеридов. Описаны преимущества и недостатки бутирата кальция и натрия, используемых в качестве инструментов для здоровья кишечника.

Ключевые слова

Пробиотики, адаптивные свойства, иммунитет, резистентность, мананоолигосахариды, пребиотики, подкислители, конверсия корма

Благодарности

Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Для цитирования

Буряков Н.П., Менберг В.В. Решения для здоровья кишечника – новое направление в кормлении моногастричных животных (обзор) // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 3. С. 115–138.

Solutions for intestinal health: a new direction in feeding monogastric animals (review)

Nikolay P. Buryakov✉, Viktor V. Menberg

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

✉ **Corresponding author:** n.buryakov@rgau-msha.ru

Abstract

Realizing the genetic potential of monogastric animals depends on a well-functioning gastrointestinal tract, which not only digests and absorbs nutrients but also protects against harmful microflora. This intestinal function is energetically expensive, requiring up to 40% of daily protein and energy intake to support rapid enterocyte turnover – these cells are replaced approximately every three days. This article reviews current perspectives on using probiotics, prebiotics, and butyric acid-based complexes in modern industrial pig and poultry farming. Studies examining the effects of probiotics with varying compositions on the gastrointestinal microflora of monogastric animals are discussed. Furthermore, the article highlights how these feed additives can enhance animal resistance to intestinal diseases by inhibiting pathogen colonization, boosting immunity, and improving nutrient availability in poultry and pigs.

Keywords

Probiotics, adaptive properties, immunity, resistance, mannoooligosaccharides, prebiotics, acidifiers, feed conversion

Acknowledgments

The work was supported by funds from the University Development Program within the framework of the Strategic Academic Leadership Program “Priority 2030”.

For citation

Buryakov N.P., Menberg V.V. Solutions for intestinal health: a new direction in feeding monogastric animals (review). *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 3. P. 115–138.

Введение Introduction

Большое внимание в решении вопросов продовольственной независимости страны уделяется птицеводству и свиноводству как преимущественно скороспелым отраслям животноводства [1, 2]. В удовлетворении растущего спроса населения страны на продукцию животного происхождения существенную роль играет птицеводство и свиноводство. Реализация генетического потенциала моногастричных животных непосредственно зависит от тех подходов, которые сегодня используются в рационах кормления [3, 4].

Для нормализации физиолого-биохимического статуса моногастричных животных, повышения общей резистентности и продуктивности предполагается применение биологически активных кормовых добавок [5–7]. В настоящее время предприятия работают над созданием эффективного, экологически безопасного производства продукции животноводства с заданными функциональными характеристиками. Основанием

для такого решения стал рост устойчивости микроорганизмов к антибиотическим препаратам как у животных, так и у населения. В связи с этим ключевым моментом из важнейших элементов ведения рационального животноводства специалисты рассматривают повышение эффективности производства продукции животноводства за счет скармливания современных кормовых добавок [8–15].

Проблема производства экологически чистой и безопасной животноводческой продукции в настоящее время является одной из основных, так как связана с качеством питания и среды обитания населения. В связи с этим все больше внимания исследователи обращают на использование в кормлении моногастричных животных комплексного контроля над патогенами: пробиотиков, пребиотиков и комплексных препаратов, созданных на их основе [10–13].

Известно, что колонизация желудочно-кишечного тракта кишечными патогенами обусловлена степенью резистентности, которая определяется стабильностью резидентной микрофлоры и целостностью кишечного барьера животного [14]. По причине применения антибиотиков повышаются потери резидентной микрофлоры, а способность патогенов колонизировать кишечник возрастает. Существенно повысить стабильность резидентной микробиоты можно за счет использования пробиотиков или кормовых пребиотиков, которые являются источниками питания для полезной микрофлоры [15].

Обнадеживающей альтернативой ростостимулирующим антибиотикам являются олигосахариды, которые усиливают и поддерживают взаимосвязь микрофлоры и организма животного [16]. Известно два класса олигосахаридов: маннанолигосахариды и фруктоолигосахариды. Фруктоолигосахариды подпитывают полезные бактерии, которые конкурентно исключают колонизацию желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) патогенами [17]. В качестве субстрата для микробной ферментации маннанолигосахариды не используются и оказывают существенный ростостимулирующий эффект ввиду повышения устойчивости животных к кишечным патогенам [18].

Результаты научных исследований подтверждают, что маннанолигосахариды повышают сопротивляемость моногастричных животных к заболеваниям и активизируют рост продуктивности подобным способом: 1) ингибируют колонизацию кишечными патогенами; 2) укрепляют барьерные функции слизи кишечника; 3) модифицируют микробную ферментацию в организме животных; 5) снижают оборот энтероцитов; 6) повышают целостность поверхности кишечника [19].

Цель исследований: анализ и обобщение научной литературы по использованию кормовых добавок в кормлении моногастричных животных, оказывающих действие на здоровье кишечника, рост, конверсию корма и продуктивность животных.

Методика исследований

Research method

Для достижения поставленной цели был проведен поиск и выполнен аналитический обзор более 60 отечественных и иностранных источников литературы.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Актуальность использования кормовых добавок в кормлении моногастричных животных. От состояния кишечника в значительной степени зависят продуктивность и здоровье птицы и свиней [20, 21]. Высокие показатели выращивания животных (сохранность поголовья, прирост живой массы, затраты корма) возможны лишь

в том случае, если кишечник здоровый, не колонизирован патогенной микрофлорой, способен обеспечить надлежащее всасывание, переваримость и использование питательных веществ комбикормов. В этом случае повышение защитной способности желудочно-кишечного тракта сможет существенно улучшить продуктивность [22–27].

Желудочно-кишечный тракт ввиду высокой микробной нагрузки на него является первичными воротами для проникновения инфекции в организм свиней и птицы. С целью обеспечения пассивного транспорта питательных веществ в кровяное русло слизистая кишечника защищена лишь одним слоем эпителиальных клеток. Этот слой не только осуществляет транспорт питательных компонентов корма, но и снижает способность кишечника защитить животных от проникновения в организм [28]. Полезная же микрофлора сдерживает рост патогенов за счет конкурентного исключения, снижая pH в кишечнике, или вырабатываются антимикробные бактериоцины (вещества). Свои собственные защитные механизмы у животных – такие, как муцины и гликопротеины кишечника, являются барьерами, которые при контакте с кормами защищают нежную слизистую оболочку от токсинов и бактерий. Желчь, ферменты, эндогенные кислоты также обладают антибактериальной активностью [29–32].

С целью усиления защиты желудочно-кишечного тракта животные мобилизуют более 50% своих иммунных клеток в пищеварительную систему [33]. Для получения оптимальной продуктивности от животных следует ограничивать рост патогенной микрофлоры в желудочно-кишечном тракте. В этой связи используют маннанолигосахариды дрожжевых клеток. В большинстве своем патогены, колонизирующие ворсинки кишечника животных, обладают лектинами, прикрепляющимися к маннозным сахарам кишечного эпителия [34]. Бактерии делятся после прикрепления и вырабатывают токсины, которые приводят к нарушениям структуры и атрофии ворсин, снижая всасывание питательных веществ рациона. Благодаря наличию комплексных альфа-маннанопротеинов, которые блокируют присоединение патогенных бактерий к слизистой оболочке кишечника [35–37], связанные бактерии не способны размножаться, что снижает нагрузку патогенов на кишечник, так как они выделяются в окружающую среду. Таким образом, маннанолигосахариды – стимуляторы роста, которые улучшают состав микрофлоры ЖКТ и его морфологию, оказывают положительное воздействие на иммунный статус организма животных [37, 38].

Залог оптимальных показателей продуктивности животных – эффективное переваривание и использование питательных веществ комбикормов. Известно, что заключительный этап усвоения компонентов рациона происходит на поверхности энтероцитов кишечника. Ферменты, которые регулируют заключительный этап усвоения, сосредоточены в цитоплазматической мембране энтероцита. Мембрана энтероцита представлена многочисленными ворсинками, отходящими от клетки, которые образуют так называемую щеточную кайму [39, 40]. Бутираты стимулируют рост ворсинок, что приводит к расширению щеточной каймы и усилению действия ферментов. Это в свою очередь увеличивает поглощающую поверхность, за счет которой возрастает эффективность поглощения питательных веществ. Применение бутиратов в кормлении животных значительно повышает синтез пищеварительных ферментов в кишечнике по сравнению с использованием обычных органических кислот [41–45].

Механизм действия пробиотиков. После попадания в организм пробиотические микроорганизмы могут модулировать баланс и активность желудочно-кишечной микробиоты, чья роль имеет основополагающее значение для гомеостаза кишечника. У птицы пробиотический эффект проявляется преимущественно в толстой и слепой кишках, которые являются основным местом локализации разнообразной микробной популяции [39]. Однако механизмы, посредством которых пробиотики оказывают благоприятное воздействие на организм животных, более разнообразны [20]. Несмотря

на то, что разные группы пробиотиков могут влиять на среду кишечника специфически, в целом функциональные механизмы их действия можно свести к 5 аспектам: 1) модуляция микробиоты кишечника; 2) модуляция иммунных реакций хозяина; 3) улучшение структуры слизистой оболочки кишечника и усиление барьерной функции кишечника; 4) модуляция усвояемости питательных веществ; 5) некоторые другие действия (рис. 1) [20, 23, 35].

Изменчивость микробиоты кишечника. Микрофлора желудочно-кишечного тракта имеет большое значение в метаболизме хозяина, в том числе поддерживает иммунитет, участвует в процессах пищеварения, и как следствие – влияет на развитие организма в целом [46]. Пробиотики улучшают общее состояние здоровья животных, предотвращая дисбаланс микробиоты кишечника и улучшая его здоровье, корректируя состав популяции микроорганизмов [37]. Типы *Firmicutes* и *Bacteroidetes* являются доминирующими бактериями в кишечнике свиней [10]. *Bacteroidetes enterica* принимает участие в распаде углеводов и белков, выполняет главную роль в укреплении здоровья кишечника за счет производства бутирата [12]. Биохимическое превращение углеводов *Clostridium faecalis* приводит к образованию бутирата, ацетата и пропионата. Бифидобактерии, продуцируя ацетат, предотвращают кишечные инфекции и играют основную роль в нормализации иммунитета [10, 13, 14]. Введение симбиотических микроорганизмов может устранить их дефицит в кишечнике, восстановить или повысить устойчивость свиней и птицы к болезням, улучшив переваривание и усвоение питательных веществ рациона, и как следствие – повысить продуктивные показатели [5, 7, 10]. Существует два основных механизма, участвующих в модуляции кишечной микробиоты: конкурентное исключение и прямое антимикробное ингибирование [12].

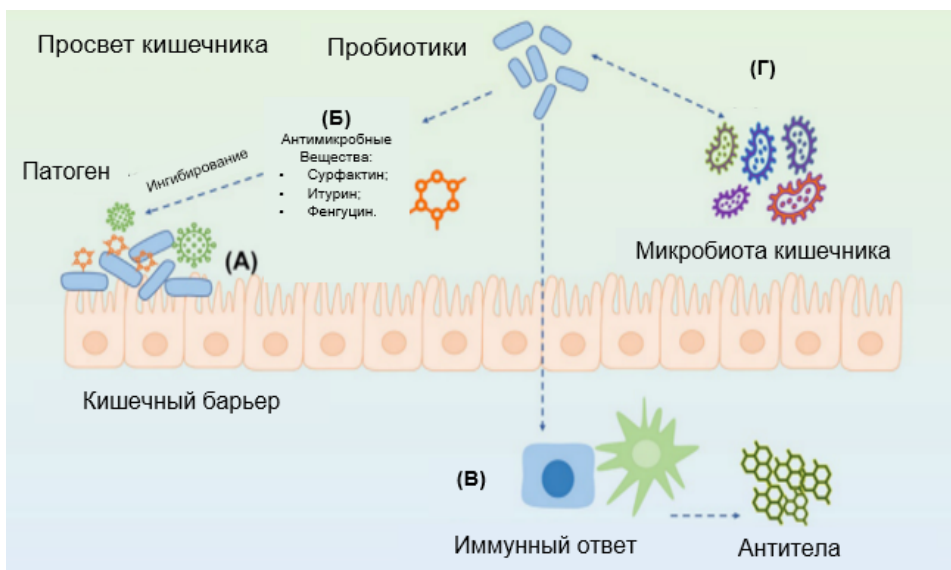


Рис. 1. Механизм действия *Bacillus subtilis* [37]:

- А – конкурентная адгезия патогенных микроорганизмов;
- В – продукция антимикробных веществ; С – баланс кишечной флоры;
- Д – поддержка иммунной системы

Figure 1. *Bacillus subtilis* mechanism of action [37]:

- А – competitive adhesion of pathogenic microorganisms;
- В – production of antimicrobial substances; С – balance of intestinal flora;
- Д – support of the immune system

Конкурентное исключение. Конкурентное исключение определяется как действие нормальной микробиоты, которая защищает кишечник от развития патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, снижая риск кишечных инфекций и диареи у моногастричных животных. Хиллман и коллеги сообщили, что рост *E. coli* успешно подавлялся различными штаммами лактобацилл [47]. У поросят прикрепление *E. coli* к эпителию тонкого кишечника подавлялось добавлением в рацион *E. faecium* и пробиотика на основе колицин-продуцирующей *E. coli*. Введение *P. acidilactici* или *S. cerevisiae boulardii* ограничивало прикрепление *E. coli* (содержащей фимбрии F4/K88) к слизистой оболочке подвздошной кишки, что является ключевым этапом в патогенезе этого патогена [48]. Включение в рацион поросят-отъемышей 500 г/т *Bacillus subtilis* способствовало увеличению биоценоза микроорганизмов и увеличению родов *Bacillus*, *Bifidobacterium* и *Clostridium faecium* в толстой и подвздошной кишках животных [49].

Концепция конкурентного исключения указывает на то, что культуры выбранных доброкачественных микроорганизмов конкурируют с вредными микроорганизмами в кишечнике за места адгезии и органические субстраты. Адгезия пробиотических микроорганизмов к стенке пищеварительного тракта может предотвратить ее колонизацию патогенными микроорганизмами, так как патогенным микроорганизмам необходимо прикрепиться, чтобы оказать свое негативное воздействие на организм хозяина [50]. Предполагаемым результатом использования пробиотиков является увеличение нормальной микробиоты с ингибированием адгезии патогенной микрофлоры к эпителию кишечника, что тем самым мешает прикреплению патогена [51]. Установлено, что отдельные виды микрофлоры могут влиять на экспрессию гликолевых конъюгатов на слизистых оболочках кишечника, которые являются рецепторами для прилипания бактерий [52].

Пробиотики являются конкурентами патогенных бактерий в борьбе за питательные вещества. Способность быстро использовать источник энергии может сократить логарифмическую фазу роста бактерий и лишить бактерии возможности противостоять эффекту промывания, оказываемому перистальтикой кишечника [53].

Прямое антимикробное ингибирование. Суть антимикробного ингибирования заключается в том, что пробиотические организмы в кишечнике могут вырабатывать вещества с бактерицидными или бактериостатическими свойствами, которые подавляют колонизацию кишечника хозяина грамположительными и грамотрицательными бактериями. Этот микробный антагонизм противодействует нарушению микробного равновесия кишечника хозяина, поддерживая тем самым оптимальный эубиотический статус [54].

Многие пробиотические бактерии, особенно лактобактерии, ферментируют углеводы – такие, как лактоза, которая является субстратом для производства короткоцепочечных жирных кислот (молочная и уксусная кислоты), тем самым снижая pH среды до уровня, который неприемлем для патогенных микроорганизмов [29, 31, 35, 39, 40]. Снижение pH кишечника этими веществами может частично компенсировать низкую секрецию соляной кислоты в желудке поросят-отъемышей [35–37].

Наряду с органическими кислотами пробиотические бактерии вырабатывают антиоксиданты, антимикробные пептиды (дефензины), реутерин, бактериоцины и микроцин. Эти вещества не только сокращают количество жизнеспособных патогенных организмов, но и влияют на метаболизм микроорганизмов, генерацию токсинов, ограничивают возможность патогенных микроорганизмов к экспансии кишечника [29, 37]. Бактериоциды увеличивают проходимость цитоплазматической мембраны бактерий, что снижает образование ДНК, РНК. Бактериоцины, продуцируемые лактобациллами, проникают через внешнюю мембрану грамотрицательных бактерий и в комбинации

с другими антимикробными факторами окружающей среды (низкие температуры, органические кислоты, детергенты) инактивируют их [24, 35, 39, 40]. Например, низин из *Streptococcus lactis* образует комбинацию с антецедентами липида II клеточной мембраны, приводит к агрегации полипептидов, что способствует образованию дискретных пор в мембране бактериальной клетки. Микроцин, продуцируемый пробиотиком *E. coli*, сдерживает рост соперников в воспаленном кишечнике, включая *E. coli*, *E. coli* и патоген *Salmonella enterica* [54]. Некоторые виды симбиотической микрофлоры также продуцируют перекись водорода, которая подавляет рост грамотрицательных бактерий, снижает патогенность микроорганизмов, сокращает захват эпителиальных клеток патогенными бактериями, приводя к гибели кишечных патогенных микроорганизмов и, проникая в эпителиальные клетки, меняет конвертацию генов и транслирование сигналов [49, 50].

Модуляция иммунных реакций хозяина. Пробиотики обладают способностью восстанавливать иммунную систему хозяина, отвечающую как за врожденные, так и за приобретенные иммунные реакции [55].

Неясно, как организм хозяина распознает патогенные, комменсальные и пробиотические бактерии, что приводит к активации иммунитета, толерантности иммунитета и активации или деактивации иммунитета. Ряд исследований установил, что некоторые бактериальные макромолекулы, называемые молекулярными паттернами, ассоциированными с микроорганизмами, являются основными факторами в полезном перекрестном взаимодействии микроорганизма и хозяина, которые могут взаимодействовать с рецепторами распознавания паттернов слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта хозяина [45, 49, 56].

Нормальная микробиота кишечника может функционировать как иммуномодуляторы для поддержки защитных систем животных от вторжения патогенов путем стимуляции желудочно-кишечного иммунного ответа, и этот эффект иммуномодуляции может способствовать развитию иммунной системы посредством стимуляции выработки антител и увеличения фагоцитарной реакции [37]. Фуллер (1992) определил 2 способа мотивации защитной реакции животного организма: 1) имунантитены могут или переходить через стенку кишечника, или увеличиваться в ограниченном количестве; 2) имунантитены, выделяемые погибшими микроорганизмами, могут поглощаться и стимулировать иммунную систему организма. Собственно, это дополнительно вызывает иммунный ответ организма животных [57].

Комбинация *Streptococcus faecium* и *Lactobacillus casei* способствует увеличению уровня IL-2 в подвздошной ткани свиней, что приводит к активации кишечного иммунитета. Лактобациллы могут колонизировать и прикрепляться к эпителию желудочно-кишечного тракта, образуя защитную мембрану против патогенных микроорганизмов, в то же время модулируя иммунитет посредством стимуляции эпителиальных лимфоцитов. Пероральное введение *Bifidobacterium longum* и других молочнокислых бактерий вызывает рост общего количества IgA слизистой оболочки кишечника [58].

Пробиотики способствуют образованию противовоспалительных цитокинов, уменьшают цитокины воспаления из энтероцитов и иммунных клеток кишечника. Штаммы *Lactobacillus* могут функционировать как иммуномодуляторы, повышают активность макрофагов, способствуя выработке интерферона и стимулируя клетки-киллеры. Использование в кормлении поросят *Lactobacillus fermentum* вызывало увеличение противовоспалительных цитокинов и субпопуляции лимфоцитов CD41 в крови [59].

Пробиотики могут воздействовать на иммунную систему хозяина с помощью таких продуктов, как метаболиты, компоненты клеточной стенки и ДНК. Очевидно, что иммуномодулирующий эффект может быть достигнут даже с погибшими

пробиотическими бактериями или просто компонентами, полученными из пробиотиков – такими, как часть пептидогликана [49].

Структура слизистой оболочки кишечника и улучшение барьерной функции кишечника моногастричных животных при использовании пробиотиков. Формирование тонкого кишечника и кишечного барьера имеет немаловажное значение в переваривании, всасывании и интенции питательных веществ животными. В целом переваривание и использование питательных веществ у животных ассоциируются с высотой кишечных ворсинок и корреляцией высоты кишечных ворсинок к глубине крипт. Уменьшение высоты ворсинок и увеличение глубины крипт могут стать причиной ухудшения всасывания питательных веществ, повышения желудочной секреции и диареи [60]. Пробиотики развивают структуру кишечника, сохраняют экспрессию генов, способствуют увеличению площади поверхности кишечника, что улучшает использование питательных веществ рациона [50]. Включение *Lactobacillus plantarum* в рационы животных привело к снижению высоты тощих ворсинок, которое происходит после воздействия энтеротоксигенной *E. coli* [49]. *Bacillus subtilis* повышают длину ворсинок и соотношение длины ворсинок к глубине крипт в подвздошной кишке, увеличивая площадь всасывания питательных веществ, улучшая пищеварение и всасывание [61].

Барьер кишечного эпителиального плотного контакта контролирует парацеллюлярное проникновение содержимого из просвета кишечника в ткани кишечника и системный кровоток. Плотные контакты между эпителиальными клетками кишечника (апикальные межклеточные соединения) составляют основу первой линии защиты хозяина, играя важную роль в защите слизистой оболочки кишечника, так как при их повреждении патогены и токсины попадают в слизистую оболочку и другие ткани, органы, кровеносную систему, что способствует развитию заболеваний. Плотные соединения состоят из белков плотных соединений (клаудинов) и окклюдина, и вирулентные бактерии проникают в кишечник, поражая их посредством различных аспектов вирулентности. *E. Coli* ломает крепкие соединения, транспортируя белки окклюзии в цитоплазму, что вызывает инфицирование организма патогенными бактериями [62]. Пробиотики поддерживают оптимальную структуру плотных соединений кишечника и улучшают защиту эпителиальных клеток кишечника от патогенной инвазии. *Lactobacillus plantarum* предотвращает адгезию продуцирующих энтеротоксин *E. coli* к эпителиальным клеткам кишечника и поддерживает целостность кишечного барьера [5, 9, 59]. *Bacillus amyloliquefaciens* (BaSC06) защищает целостность плотных соединений и ворсинок [12].

Восстановление барьерной функции слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта животных пробиотиками установлено как *in vitro*, так и *in vivo* [42]. Отдельные пробиотики влияют на взаимодействие клеток слизистой оболочки кишечника, клеточное равновесие, укрепляя функцию кишечного барьера посредством модуляции фосфорилирования цитоскелетных белков и белков-рецепторов [16, 29].

Известно, что энтеротоксины, образуемые патогенными микроорганизмами, могут приводить к потере жидкости в кишечном сегменте и к поносу. Успешность ряда пробиотиков в сокращении заболеваемости диарейным синдромом определена их возможностью защищать животное от бактериальных токсических компонентов. Некоторые энтеротоксины, вырабатываемые патогенными бактериями, могут быть нейтрализованы веществами, вырабатываемыми пробиотиками. Ряд пробиотиков предотвращает синтез аминов вредными бактериями. Колиформные микроорганизмы декарбоксилируют аминокислоты для формирования токсичных аминов, которые могут раздражать кишечник, что приводит к заболеваемости диарей [17, 49, 63].

Стабилизация усвояемости питательных веществ. Пробиотики способны улучшить усвояемость питательных веществ рациона: сухого вещества, органического вещества, энергии, сырого протеина, сырой клетчатки и фосфора. Кажущаяся усвояемость сырого протеина и фосфора выше у поросят-отъемышей, получавших рацион на основе кукурузы и соевого шрота с добавлением 0,1% комбинированного препарата лактобацилл [40]. Использование *L. fermentum* при концентрации в рационе $5,8 \times 10^7$ КОЕ/г максимально увеличило усвояемость сырого протеина у поросят-отъемышей среди концентраций в рационе от $3,2 \times 10^6$ до $2,9 \times 10^8$ КОЕ/г [46]. Свиньи на откорме, которым вводили в рацион смесь высушенных распылением спорообразующих *B. subtilis* и эндоспор *Clostridium butyricum*, демонстрировали высокую усвояемость сырого протеина и энергии. Использование в рационе свиней 0,1% комплекса *L. reuteri* и *L. plantarum* (1×10^6 КОЕ/г) способствовало повышению кажущейся усвояемости энергии и азота [46, 48].

Использование рационов с различными комплексами молочнокислых бактерий в кормлении поросят-отъемышей способствовало увеличению кажущейся усвояемости органического вещества, сырого протеина и сырой клетчатки [16, 45, 48]. Применение мультибактериальной смеси (мультибактериальной смеси, *B. subtilis* H4 или введение *S. boulardii* Sb к штаммам молочнокислых бактерий (*E. faecium* 6H2, *L. acidophilus* C3, *P. pentosaceus* D7 и *L. fermentum* NC1) привело к улучшению усвояемости органического вещества и сырого протеина у отнятых поросят [6, 13, 51, 62, 64].

Высокий уровень усвояемости питательных веществ рациона у свиней при использовании пробиотиков был вызван повышением выработки и активности пищеварительных ферментов в кишечнике [6, 55]. Лактобактерии вырабатывают молочную кислоту и протеолитические ферменты, которые способствуют лучшему усвоению питательных веществ организма [1, 64, 68]. В тонком отделе кишечника поросят до отъема наблюдали динамичность сахаразы, лактазы и трипептидазы при использовании пробиотической добавки «Probio», содержащей *L. plantarum*, *L. acidophilus*, *L. casei* и *S. faecium* [24]. Бактерии – такие, как *Bacillus amyloliquefaciens*, продуцируют супероксиддисмутазу и глутатионпероксидазу, α -амилазу, целлюлазу, протеазы и металлопротеазы. Увеличение ферментативной активности в ЖКТ свиней, получавших пробиотики, зависит от деятельности ферментов пробиотиков. Они оказывают влияние на абсорбционную и секреторную активность кишечника моногастрических животных. Более динамичный транспорт L-глутамина и ионов наблюдали у свиней, получавших *B. cereus* или *E. faecium* в возрасте 28 дней [16, 31, 49, 51, 68]. У свиней (от 15 до 42 дней после отъема), получавших пробиотик на основе одного штамма *B. subtilis* и 2 штаммов *B. amyloliquefaciens* в равных соотношениях, ворсинки двенадцатиперстной, тощей и подвздошной кишок были длиннее по сравнению с данными контрольной группы [16].

Ожидаемые результаты использования пробиотиков в питании моногастрических животных также включают их взаимодействие с солями желчных кислот и выработку витаминов [25, 56].

Альтернативные пути действия пробиотиков: антиоксидантная активность и облегчение стресса. В современной промышленной системе производства продукции животноводства животные часто подвергаются окислительному стрессу, который вызывает по причине окислительной аalterации снижение иммунитета. Показано, что молочнокислые бактерии *B. longum* и *L. fermentum* могут продуцировать антиоксиданты, удалять свободные радикалы, и как следствие – их можно применять для ослабления окислительного стресса животных [16, 37, 41, 51, 64, 65].

Введение в рацион свиней на откорме (от 50 до 90 кг) *L. fermentum* способствует повышению антиоксидантного статуса у животных, на что указывают повышение уровня супероксиддисмутазы и глутатионпероксидазы в сыворотке, снижение количества малонового диальдегида в сыворотке и мышцах животных [54]. Использование в комбикорме для свиней *L. fermentum* 15007 после инъекции диквата, которая ограничила продуктивные показатели и спровоцировала увеличение уровня кортизола, адреналина, карбонила, малонового диальдегида в плазме, способствовало повышению антиоксидантной защиты организма, уменьшило последствия, нанесенные дикватом, привело к повышению продуктивности животных [4, 29, 48].

Масляная кислота, ее производные соединения и здоровье кишечника. Клетки кишечного эпителия являются быстро делящимися клетками в организме животных, и замена эпителиоцитов происходит в течение от 2 до 5 суток и только при достаточном количестве энергии. Для животных источниками энергии являются компоненты корма: углеводы, жиры и белки.

Известно, что основным источником энергии для клеток кишечного эпителия являются летучие жирные кислоты: уксусная, пропионовая и масляная. Оптимальным источником энергии для клеток кишечника является масляная кислота. Масляная кислота полностью используется в кишечнике и не участвует в других обменных процессах организма (рис. 2) [42].

Масляная кислота участвует в обменных процессах энтероцитов и способствует росту ворсинок кишечника, что вызывает увеличение площади всасывания, приводит к улучшению переваривания и всасывания питательных веществ кормов [45, 46].

Масляная кислота представляет собой природную короткоцепочечную жирную кислоту, образующуюся в толстом кишечнике за счет действия кишечной микрофлоры [43].

Главной функцией масляной кислоты является обеспечение эпителия кишечника энергией для развития и защитной роли клеток кишечника.

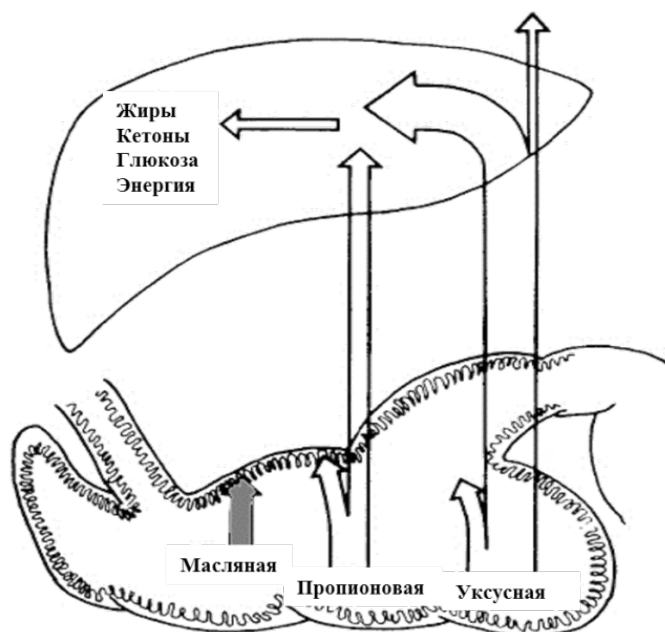


Рис. 2. Метаболизм основных летучих жирных кислот

Figure 2. Metabolism of major volatile fatty acids

Масляная кислота, кроме функции энергетического провайдера и регулятора обмена веществ, оказывает сопротивление воспалительным процессам, которые возникают при неблагоприятных условиях: инфекции, стрессы, условия содержания и т.д.

Действие масляной кислоты осуществляется в нескольких направлениях:

– служит источником энергии энтероцитов, обладает высоким уровнем энергии – 17,6 МДж/кг;

– сохраняет единство слизистой оболочки кишечника, побуждает рост и уменьшает отмирание ворсинок, способствует восстановлению кишечной оболочки, повышает секрецию пищеварительных ферментов;

– укрепляет иммунную систему и активизирует нестандартный иммунный ответ;

– снижает рост и доступ патогенных бактерий, уменьшает экспрессию генов, виновных в заражении и закреплении *E. coli*, *Clostridium*, *Campylobacter* и *Salmonella*;

– сокращает уровень pH в бактериальной клетке, что приводит к гибели клетки.

Ученые В. Болтон и В. Дюар (1965) определили, что более 60% от уровня введенной в рацион масляной кислоты использовалось птицей на уровне зоба. После прохождения комбикорма через желудок почти вся масляная кислота разрушалась, и в кишечник поступало менее 10% от ее первоначального уровня (табл.) [31].

Таблица

**Концентрация жирных кислот
в отделах желудочно-кишечного тракта птицы**

Table

Concentration of fatty acids in the gastrointestinal tract of poultry

Показатель	Органические кислоты		
	уксусная	пропионовая	масляная
Содержание в кормах, %	2,38	2,37	2,55
В желудочно-кишечном тракте, % от содержания в кормах			
Зоб	99,0	40,2	59,6
Тонкий кишечник			
Отдел 1	0	2,1	0,5
Отдел 2	0	1,7	0
В помете	1,6	0,4	0

В желудочно-кишечном тракте животных происходит эндогенный синтез масляной кислоты полезными бактериями. Наряду с этим с кормом вводят и соли масляной кислоты, действие которых происходит в верхних отделах кишечника, а ее антибактериальный эффект наблюдают в нижних отделах ЖКТ. Основные функции эндогенной масляной кислоты сводятся к следующему:

– выработка муцина бокаловидными клетками;

– источник энергии для энтероцитов;

– подавление синтеза цитокинов в результате снижения воспаления;

– ингибирование генов вирулентности патогенов.

Масляная кислота в организме животных динамична, однако она нестабильна при хранении комбикормов и имеет едкий запах, возбуждающий аллергические реакции. Поэтому возникла задача создания для животных надежных кормовых добавок на основе масляной кислоты.

Характеристика кормовых добавок в зависимости от дериватов масляной кислоты. В питании животных масляная кислота используется в форме бутиратов и бутиринов (рис. 3). Соли масляной кислоты представлены в форме кальциевой (бутират кальция) и натриевой соли (бутират натрия). Бутирины – это эфиры масляной кислоты и глицерина (глицериды) [4].

Следует отметить, что конкуренция на российском рынке продуктов на основе производных масляной кислоты чрезвычайно высока. По состоянию на 2017 г. зарегистрировано 19 таких продуктов. Естественно, что при такой насыщенности рынка у ученых нет единого мнения по поводу наиболее эффективной формы производных масляной кислоты, особенно в свете того, что каждый производитель называет свой продукт наиболее оптимальным.

Бутирины. Л. Готхалс утверждает, что бутирины – это липиды: моно-, ди- и триглицериды, то есть имеют разное число масляных радикалов [41]. Следовательно, короткоцепочечные глицериды быстро поглощаются в кишечнике и поступают в кровь воротной вены, а затем в печень. На рисунке 4 представлен способ трансформации бутиринов по образу триглицерида. Исходя из этого бутирины, будучи липидами, могут быть полезны только как источник энергии, количество которого определяется количеством кормовой добавки. Поэтому с целью получения энергетической эффективности количество добавки должно быть большим [5].

Представители компании Framelco утверждают, что в кровь поступают только бета-моноголицериды, в то время как два аниона масляной кислоты отщепляются под действием липазы и оказывают свое биологическое действие [16].

Альфа-моноголицериды не улетучиваются, автономны от pH, термостойки, имеют нейтральный вкус и запах, обладают липофильными и гидрофильными свойствами [17].

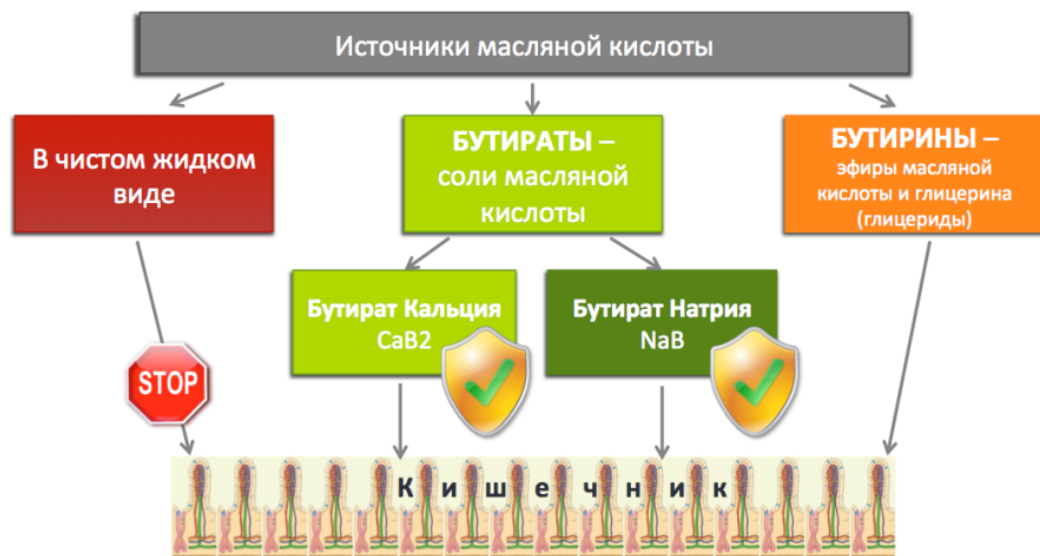


Рис. 3. Систематизация форм масляной кислоты, применяемых в питании животных [4]

Figure 3. Systematization of forms of butyric acid used in animal nutrition [4]

Диссоциация триглицеридов масляной кислоты находится вне зависимости от уровня pH в ЖКТ птицы, поэтому они имеют возможность проникать в более дистальные отделы кишечника (рис. 5) [63].

Необходимо отметить, что применение эфиров масляной кислоты – довольно новое направление в кормлении, и на сегодняшний день на российском рынке представлено всего 2 продукта с этим действующим веществом. Поэтому для подтверждения эффективности их использования необходимы дополнительные исследования, в том числе на территории стран СНГ.

Бутираты. В отличие от кислоты в чистом виде соли не столь летучи и агрессивны относительно к дыхательной системе. Тем не менее соли обладают теми же нежелательными свойствами, что и масляная кислота, – это значительный уровень утраты активности в кислой среде желудка. Поступая в желудок, бутираты взаимодействуют с соляной кислотой и образуют хлориды и масляную кислоту. Поэтому и возникла задача сохранения бутиратов и активности действующего вещества солей.

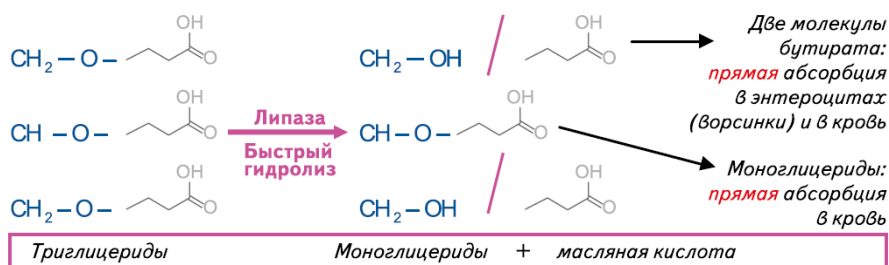
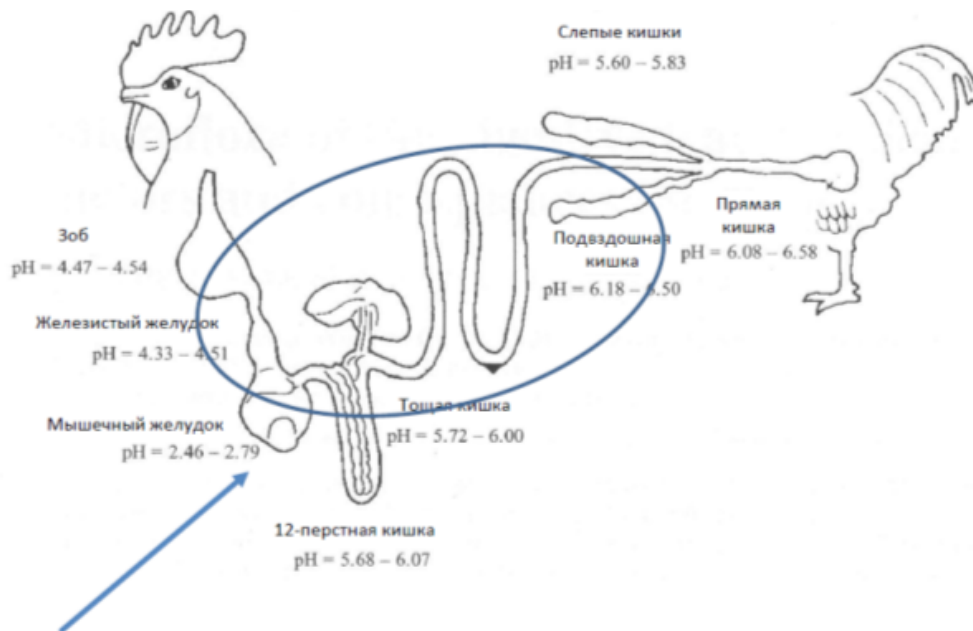


Рис. 4. Алгоритм метаболизма триглицеридов масляной кислоты

Figure 4. Pathway of triglyceride metabolism of butyric acid



Действие триглицеридов масляной кислоты

Рис. 5. Область действия триглицеридов масляной кислоты

Figure 5. Sites of action of butyric acid triglycerides

Методы сохранности действующего вещества. Существует несколько методов сохранности активного вещества солей масляной кислоты:

1. Соли масляной кислоты на наполнителе. Соли масляной кислоты смешивают с минеральной субстанцией. Это повышает гомогенность распределения бутирата в кормах, но не оберегает активное вещество от воздействия кислой среды желудка. Поэтому данный метод сохранности основного вещества является невысоким и требует его использования в больших количествах.

2. Гранулированная матрица. Данный метод имеет больший уровень защиты по сравнению с размещением солей на носителе, поскольку большее количество бутирата находится внутри гранул.

3. Оболочечная матрица. Бутират на наполнителе обволакивается жировой мембраной, которая способствует сохранности основного вещества от контакта с кислой средой желудка, предохраняя основное вещество. В кишечной системе мембрана распадается под влиянием липазы, и бутират освобождается. Данный метод позволяет доносить энтероцитам до 100% бутирата. Технология инкапсуляции способствует снижению уровня препарата в рационах животных [65].

Диспарантность бутирата натрия и кальция. Соли масляной кислоты – бутираты натрия и кальция – имеют значительное количество подтверждающих данных об эффективности их использования в кормлении животных. Сторонники применения бутирата кальция основывают свое мнение на том, что соль кальция используются в медицине [8, 9, 63].

Сторонники применения в кормлении животных бутирата натрия опираются на сравнительные данные Французского института животноводства (INRA), в которых показана значительно высокая эффективность использования бутирата натрия в защитной оболочке [4, 16, 18, 41, 56].

Определенное внимание следует обратить на то, что липидная оболочка, которая защищает бутират натрия, не выдерживает нагревания и расплывается по поверхности чашки Петри (рис. 6).

При температуре +85°C сыпучесть препарата БутиЭнерджи+ нарушается при минимальном времени экспозиции 3 мин. В этих условиях гранулы препарата Овокрак также частично оплавливаются, однако в меньшей степени, чем у БутиЭнерджи+ (рис. 7).

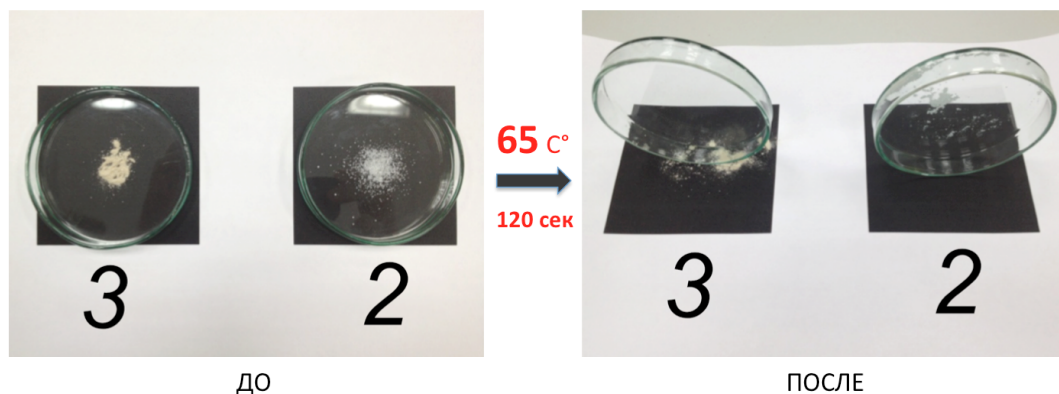


Рис. 6. Воздействие температуры +65°C на целостность липидной оболочки в течение 120 с [5]

Figure 6. Effect of heat treatment (+65°C for 120 seconds) on lipid membrane integrity [5]



Рис. 7. Внешний вид препаратов после термообработки при температуре +85°C в течение 3 мин: слева – БутиЭнерджи+; справа – Овокрак

Figure 7. Appearance of Butyergi + (left) and Ovocrac (right) after heat treatment at +85°C for 3 minutes

Следует отметить, что бутираты обладают принципиальными различиями: молярной массой, уровнем масляной кислоты, биологической активностью и особенностями диссоциации. Натриевая соль масляной кислоты имеет значительную биологическую активность и вступает в контакт активного компонента организма, при этом диссоциация его не зависит от кислотности биома. Для взаимодействия бутирата натрия с энтероцитами и однородной дисперсии в отделах кишечника животного бутирату натрия необходима защита, которую создает липидная оболочка.

Кальциевая соль масляной кислоты обладает большим количеством анионов по сравнению с натриевой солью, но активность и биологическое влияние у бутирата кальция выражены слабее, сольватация зависит от pH среды. Поэтому кальциевой соли для оптимального действия достаточно грануляции, которая повышает сохранность активного вещества в период хранения и изготовления комбикормов. Дефицит липидной мембраны и дополнительных носителей приводит к повышению уровня действующего вещества до 90%.

Рекуперация бутиратов в питании свиней и птицы имеет большое значение, и принятие решения по применению активного вещества определяется решением задач на производстве, технологии производства кормов [8, 9, 63].

Выводы

Conclusions

В кормлении моногастричных животных используются кормовые добавки на всех производственных этапах. Более того, их можно использовать для различных целей – таких, как улучшение производительности, поддержание здоровья животных, повышение качества продукции или снижение нагрузки на окружающую среду. Ввиду потенциального риска перекрестного селективного давления устойчивости к антибиотикам среди бактериальных патогенов необходима разработка новых кормовых добавок, среди которых большой интерес представляют пробиотики, поскольку они могут улучшать иммунный ответ, поддерживать здоровье кишечника животных и повышать эффективность кормления. Пробиотики являются «естественной» альтернативой антибиотикам, которую интенсивно используют в кормлении свиней и птицы,

поскольку они помогают бороться с заболеваниями и могут играть роль стимуляторов роста, что приводит к повышению производительности и росту животных. Пробиотики не только поддерживают баланс микробиома кишечной флоры, но и повышают иммунитет, тем самым снижая тяжесть и риск заболеваний у животных.

На основании анализа научной литературы установлена целесообразность применения пробиотиков и бутиратов для повышения адаптивной способности и продуктивности свиней и птицы. Положительное действие их заключается в повышении резистентности моногастричных животных к заболеваниям кишечника и стимулировании роста следующим образом: 1) путем блокирования прикрепления бактерий к поверхности кишечника и ингибирует колонизацию кишечными патогенами; 2) повышает иммунитет; 3) в пользу доступности питательных веществ рациона для животного модифицирует микробную ферментацию; 4) повышает барьерные функции слизи кишечника; 5) снижает оборот энтероцитов; 6) повышает целостность поверхности кишечника.

Список источников

1. Буяров А.В., Буяров В.С. Животноводство и птицеводство России: состояние, тенденции и перспективы развития в современных экономических условиях // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 15, № 4 (75). С. 108–123. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_4_108
2. Зорина Е.Г. Проблемы и перспективы продовольственного обеспечения в условиях санкций // *IV Международная научно-практическая конференция «Молодежная наука – развитию агропромышленного комплекса»*. Курск: Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, 2024. С. 190–197.
3. Giraldo P.A., Shinozuka H., Spangenberg G.C. et al. Safety Assessment of Genetically Modified Feed: Is There Any Difference From Food? *Front. Plant Sci.* 2019;10:1592. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01592>
4. Ковалев Ю. Развитие свиноводства: впереди новый этап // *Животноводство России*. 2024. № 2. С. 22–24. EDN: LIIMMW
5. Hardy H., Harris J., Lyon E. et al. Probiotics, prebiotics and immunomodulation of gut mucosal defences: homeostasis and immunopathology. *Nutrients*. 2013;5:1869-1912.
6. Алешин Д.Е. Продукты биотехнологической промышленности в кормлении животных: пробиотики, пребиотики, симбиотики, синбиотики и постбиотики // *Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития*. Петрозаводск: Новая Наука, 2024. С. 296–343. EDN: ZMHCPM
7. Kosolapova V.G., Buryakov N.P., Aleshin D.E. et al. Scientific and economic justification of application of symbiotic polycomponent fodder additive in feeding high productive cows. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021;901:012026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012026>
8. Khadija A.A. The synergistic effects of probiotic microorganisms on the microbial production of butyrate in vitro. *McNair Scholars Research Journal*. 2009;2(1):103-114.
9. Bolton W., Dewar W.A. The digestibility of acetic, propionic and butyric acids by the fowl. *British Poultry Science*. 1965;6(2):103-105.
10. Afonso E.R., Parazzi L.J., Marino C.T. et al. Probiotics association in the suckling and nursery in piglets challenged with *Salmonella typhimurium*. *Braz Arch Biol Technol*. 2013;56:249-258. <http://doi.org/10.1590/S1516-89132013000200010>
11. Ahmadifar E., Dawood M.A., Moghadam M.S. et al. The effect of *Pediococcus acidilactici* MA 18/5 M on immune responses and mRNA levels of growth, antioxidant and immune-related genes in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture Rep*. 2020;17:100374. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100374>

12. Ahmed S., Hoon J., Hong-Seok M., Chul-Ju Y. Evaluation of *Lactobacillus* and *Bacillus*-based probiotics as alternatives to antibiotics in enteric microbial challenged weaned piglets. *Afr. J. Microbiol. Res.* 2014;8(1):96-104. <http://doi.org/10.5897/AJMR2013.6355>
13. Baker A.A., Davis E., Spencer J.D. et al. The effect of a *Bacillus*-based direct-fed microbial supplemented to sows on the gastrointestinal microbiota of their neonatal piglets. *J. Animal Sci.* 2013;91(7):3390-3399. <http://doi.org/10.2527/jas.2012-5821>
14. Barba-Vidal E., Castillejos L., Roll V.F. et al. The probiotic combination of *Bifidobacterium longum subsp. Infantis* CECT 7210 and *Bifidobacterium animalis subsp. Lactis* BPL6 reduces pathogen loads and improves gut health of weaned piglets orally challenged with *Salmonella Typhimurium*. *Front Microbiol.* 2017;8:1570. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01570>
15. Ding H., Zhao X., Azad M.A.K. et al. Dietary supplementation with *Bacillus subtilis* and xylo-oligosaccharides improves growth performance and intestinal morphology and alters intestinal microbiota and metabolites in weaned piglets. *Food Funct.* 2021;12(58):5837-5849. <https://doi.org/10.1039/d1fo00208b>
16. Chen Y., Xie Y., Zhong R. et al. Effects of xylo-oligosaccharides on growth and gut microbiota as potential replacements for antibiotic in weaning piglets. *Front. Microbiol.* 2021;12:641172. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.641172>
17. Kherade M., Solanke S., Tawar M., Wankhede S. Fructooligosaccharides: A comprehensive review. *J. Ayu. Herb Med.* 2021;7(3):193-200. <https://doi.org/10.31254/jahm.2021.7305>
18. Asbury R.E., Saville B.A. Manno-oligosaccharides as a promising antimicrobial strategy: pathogen inhibition and synergistic effects with antibiotics. *Front. Microbiol.* 2025;16:1529081. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1529081>
19. Zhou M. Tao, Y. Lai, C. et al. Effects of mannanoligosaccharide supplementation on the growth performance, immunity, and oxidative status of partridge shank chickens // *Animals*. 2019;9:817. <https://doi.org/10.3390/ani9100817>
20. Aruwa C.E., Pillay C., Nyaga M.M. et al. Poultry gut health – microbiome functions, environmental impacts, microbiome engineering and advancements in characterization technologies. *J Animal Sci Biotechnol.* 2021;12:119. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00640-9>
21. Kuzmina I.V., Tolpygo S.M., Kotov A.V. et al. Intestinal digestion in poultry compared to other animal species with a diverse diet. *Front. Physiol.* 2024;15:1358524. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1358524>
22. Фисинин В.И., Егоров И.А., Манукян В.А. и др. Состояние микрофлоры желудочно-кишечного тракта кур-несушек при замене в комбикорме кукурузы пшеницей // *Птица и птицепродукты*. 2016. № 6. С. 33–36. EDN: XEPROL.
23. Cai L., Indrakumar S., Kiarie E., Kim I.H. Effects of a multi-strain *Bacillus* species-based direct-fed microbial on growth performance, nutrient digestibility, blood profile, and gut health in nursery pigs fed corn-soybean meal-based diets. *J Anim Sci.* 2015;93:4336-4342. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9056>
24. Che L., Hu L., Liu Y. et al. Dietary nucleotides supplementation improves the intestinal development and immune function of neonates with intra-uterine growth restriction in a pig model. *PLoS ONE*. 2016;11(6): e0157314. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157314>
25. Барило О.А., Берлинский Ю.Р., Мерзленко Р.А., Мингалеева Л.А. Актуальность использования пробиотиков и пребиотиков в животноводстве и ветеринарии // *Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии*. 2023. № 2 (28). С. 5–9. EDN: NQQYTG

26. Мурашов А.Г., Ермолова Е.М., Ермолов С.М. и др. Использование пробиотика в рационе свиноматок // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021. № 5. С. 234–238. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-91-5-234-238>
27. Калоев Б.С. Влияние комплексного использования ферментного, пробиотического и пребиотического препаратов на мясные качества цыплят-бройлеров // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2021. Т. 58-2. С. 71–76. EDN: IWXDNA
28. Liu Y. Fatty acids, inflammation and intestinal health in pigs. *J Animal Sci Biotechnol*. 2015;6:41. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0040-1>
29. Barba-Vidal E., Martín-Orúe S.M., Castillejos L. Practical aspects of the use of probiotics in pig production: A review. *Livestock Science*. 2019;223:84-96. <http://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.02.017>
30. Gan F., Chen X., Liao S.F. et al. Selenium-enriched probiotics improve antioxidant status, immune function, and selenoprotein gene expression of piglets raised under high ambient temperature. *J Agric Food Chem*. 2014;62:4502-4508. <https://doi.org/10.1021/jf501065d>
31. Giang H., Viet T., Ogle B. Effects of supplementation of probiotics on the performance, nutrient digestibility and faecal microflora in growing-finishing pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci*. 2011;24(5):655-661. <http://doi.org/10.5713/ajas.2011.10238>
32. Giang H.H., Viet T.Q., Ogle B., Lindberg J.E. Growth performance, digestibility, gut environment and health status in weaned piglets fed a diet supplemented with a complex of lactic acid bacteria alone or in combination with *Bacillus subtilis* and *Saccharomyces boulardii*. *Livest Sci*. 2012;143(2-3):132-141. <http://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.09.003>
33. Забашта Н.Н., Головки Е.Н., Синельщикова И.А. Коррекция кишечного микробиоценоза моногастричных // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2024. Т. 260, № 4. С. 98–104. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_260_98
34. Заболоцкая Т.В., Панявина К.Д., Штауфен А.В. Взаимодействие дрожжевых глюкоманнанов с патогенными и пробиотическими бактериями *in vitro* // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2024. № 12 (150). [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.66> (дата обращения: 18.05.2025)
35. Krishnamurthy H.K., Pereira M., Bosco J. et al. Gut commensals and their metabolites in health and disease. *Front. Microbiol*. 2023;14:1244293. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1244293>
36. Keimer B., Pieper R., Simon A., Zentek J. Effect of time and dietary supplementation with processed yeasts (*Kluyveromyces fragilis*) on immunological parameters in weaned piglets. *Anim Feed Sci Technol*. 2018;245:136-146. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.09.008>
37. Markowiak P., Śliżewska K. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathog*. 2018;10:21. <https://doi.org/10.1186/s13099-018-0250-0>
38. Bermúdez-Humarán L.G., Chassaing B., Langella P. Exploring the interaction and impact of probiotic and commensal bacteria on vitamins, minerals and short chain fatty acids metabolism. *Microb Cell Fact*. 2024. Vol. 23, № 172. <https://doi.org/10.1186/s12934-024-02449-3>
39. Wu Y., Zhen W., Geng Y. et al. Effects of dietary *Enterococcus faecium* NCIMB11181 supplementation on growth performance and cellular and humoral immune responses in broiler chickens. *Poult Sci*. 2019;98(1):150-163. <http://doi.org/10.3382/ps/pey368>
40. Wu Z., Yang K., Zhang A. et al. Effects of *Lactobacillus acidophilus* on the growth performance, immune response, and intestinal barrier function of broiler

- chickens challenged with *Escherichia coli* O157. *Poult Sci.* 2021;100(9):101323. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101323>
41. Готхалс Л., Горбакова А. Сравнительные характеристики бутиратов, применяемых в продуктивном животноводстве и птицеводстве // *Комбикорма*. 2014. № 5. С. 43–45. EDN: QFZXRU
 42. Драчеловский О.В. Применение короткоцепочечных и среднецепочечных кислот в свиноводстве // *IV Всебелорусский Форум животноводов*. Минск: Издательский дом Гревцова, 2017. С. 137-144
 43. Ленкова Т.Н., Трошкин А.Н., Драчеловский О.В. Применение бутирата натрия эффективно // *Птицеводство*. 2014. № 12. С. 21–26. EDN: TJZPBP
 44. Сизикова Т., Горбакова А. Источник масляной кислоты в интенсификации птицеводства // *Комбикорма*. 2014. № 7. С. 67–68. EDN: SIFONV
 45. Hill C., Guarner F., Reid G. et al. Expert consensus document. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* 2014;11(8):506-514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>
 46. Yirga H. The use of probiotics in animal nutrition. *J Prob Health.* 2015;3:132. <https://doi.org/10.4172/2329-8901.1000132>
 47. Daudelin J.F., Lessard M., Beaudoin F. et al. Administration of probiotics influences F4 (K88)-positive enterotoxigenic *Escherichia coli* attachment and intestinal cytokine expression in weaned pigs. *Vet Res* 2011;42:69. <https://doi.org/10.1186/1297-9716-42-69>
 48. Zhang Y., Zhang Y., Liu F. et al. Mechanisms and applications of probiotics in prevention and treatment of swine diseases. *Porc Health Manag.* 2023;9:5. <https://doi.org/10.1186/s40813-022-00295-6>
 49. Liao S.F., Nyachoti M. Using probiotics to improve swine gut health and nutrient utilization. *Anim Nutr.* 2017;3(4):331-343. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.06.007>
 50. Raheem A., Liang L., Zhang G., Cui S. Modulatory Effects of Probiotics During Pathogenic Infections With Emphasis on Immune Regulation. *Front. Immunol.* 2021; 12:616713. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.616713>
 51. Wu T., Wang G., Xiong Z. et al. Probiotics Interact With Lipids Metabolism and Affect Gut Health. *Front. Nutr.* 2022;9:917043. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.917043>
 52. Varankovich N.V., Nickerson M.T., Korber D.R. Probiotic-based strategies for therapeutic and prophylactic use against multiple gastrointestinal diseases. *Front. Microbiol.* 2015;6:685. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00685>
 53. Reiners J., Lagedroste M., Ehlen K. et al. The N-terminal Region of Nisin Is Important for the BceAB-Type ABC Transporter NsrFP from *Streptococcus agalactiae* COH1. *Front. Microbiol.* 2017;8:1643. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01643>
 54. Szydłowska A., Sionek B. Probiotics and Postbiotics as the Functional Food Components Affecting the Immune Response. *Microorganisms.* 2023;11:104. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010104>
 55. Hevia A., Delgado S., Sánchez B., Margolles A. Molecular Players Involved in the Interaction Between Beneficial Bacteria and the Immune System. *Front. Microbiol.* 2015;6:1285. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01285>
 56. Motran C.C., Silvano L., Chiapello L.S. et al. Helminth Infections: Recognition and Modulation of the Immune Response by Innate Immune Cells. *Front. Immunol.* 2018;9:664. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00664>
 57. Vieco-Saiz N., Belguesmia Y., Raspoet R. et al. Benefits and Inputs From Lactic Acid Bacteria and Their Bacteriocins as Alternatives to Antibiotic Growth Promoters During Food-Animal Production. *Front. Microbiol.* 2019;10:57. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00057>

58. Rastogi S., Singh A. Gut microbiome and human health: Exploring how the probiotic genus *Lactobacillus* modulate immune responses. *Front. Pharmacol.* 2022;13:1042189. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1042189>
59. Soares A., Beraldi E.J., Ferreira P.E.B. et al. Intestinal and neuronal myenteric adaptations in the small intestine induced by a high-fat diet in mice. *BMC Gastroenterol.* 2015;15:3. <https://doi.org/10.1186/s12876-015-0228-z>
60. Mohamed T.M., Sun W., Bumbie G.Z. et al. Feeding *Bacillus subtilis* ATCC19659 to broiler chickens enhances growth performance and immune function by modulating intestinal morphology and cecum microbiota. *Front Microbiol.* 2022;12:798350. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.798350>
61. Kaminsky L.W., Al-Sadi R., Ma T.Y. IL-1 β and the intestinal epithelial tight junction barrier. *Front. Immunol.* 2021;12:767456. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.767456>
62. Kim K., Song M., Liu Y., Ji P. Enterotoxigenic *Escherichia coli* infection of weaned pigs: Intestinal challenges and nutritional intervention to enhance disease resistance. *Front. Immunol.* 2022;13:885253. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.885253>
63. Mazur-Kuśnerek M., Lipiński K., Antoszkiewicz Z., Matusevičius P. Different forms of butyric acid in poultry nutrition – a review. *Journal of Animal and Feed Sciences.* 2024;33(3):270-280. <https://doi.org/10.22358/jafs/186022/2024>

References

1. Buyarov A.V., Buyarov V.S. Animal husbandry and poultry farming in Russia: current state and development trends in modern economic conditions. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University.* 2022;15(4(75)):108-123. (In Russ.) https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_4_108
2. Zorina E.G. Problems and prospects of food security under sanctions. *IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh 'Molodezhnaya nauka – razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa'.* November 15, 2022. Kursk, Russia: Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, 2024:190-197. (In Russ.)
3. Giraldo P.A., Shinozuka H., Spangenberg G.C. et al. Safety Assessment of Genetically Modified Feed: Is There Any Difference From Food? *Front. Plant Sci.* 2019;10:1592. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01592>
4. Kovalyov Yu. Pig production development: a new stage ahead. *Zhivotnovodstvo Rossii.* 2024;(2):22-24. (In Russ.)
5. Hardy H., Harris J., Lyon E., Beal J., Foey A.D. Probiotics, prebiotics and immunomodulation of gut mucosal defences: homeostasis and immunopathology. *Nutrients.* 2013;5:1869-1912.
6. Aleshin D.E. Biotechnological industry products in animal feeding: probiotics, prebiotics, symbiotics, synbiotics and postbiotics. In: *Abdullazyanov E.Yu., Akanova A.N., Akramov B.Sh., Aleshin D.E. et al. Fundamental and applied science: status and development trends: a monograph.* Petrozavodsk, Russia: Mezhdunarodniy tsentr nauchnogo partnerstva "Novaya Nauka" (IP Ivanovskaya I.I.), 2024:296-343. (In Russ.)
7. Kosolapova V.G., Buryakov N.P., Aleshin D.E. et al. Scientific and economic justification of application of symbiotic polycomponent fodder additive in feeding high productive cows. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021;901:012026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012026>
8. Khadija A.A. The synergistic effects of probiotic microorganisms on the microbial production of butyrate in vitro. *McNair Scholars Research Journal.* 2009;2(1):103-114.
9. Bolton W., Dewar W.A. The digestibility of acetic, propionic and butyric acids by the fowl. *British Poultry Science.* 1965;6(2):103-105.

10. Afonso E.R., Parazzi L.J., Marino C.T. et al. Probiotics association in the suckling and nursery in piglets challenged with *Salmonella typhimurium*. *Braz Arch Biol Technol.* 2013;56:249-258. <http://doi.org/10.1590/S1516-89132013000200010>
11. Ahmadifar E., Dawood M.A., Moghadam M.S. et al. The effect of *Pediococcus acidilactici* MA 18/5 M on immune responses and mRNA levels of growth, antioxidant and immune-related genes in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture Rep.* 2020;17:100374. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100374>
12. Ahmed S., Hoon J., Hong-Seok M., Chul-Ju Y. Evaluation of *Lactobacillus* and *Bacillus*-based probiotics as alternatives to antibiotics in enteric microbial challenged weaned piglets. *Afr. J. Microbiol. Res.* 2014;8(1):96-104. <http://doi.org/10.5897/AJMR2013.6355>
13. Baker A.A., Davis E., Spencer J.D. et al. The effect of a *Bacillus*-based direct-fed microbial supplemented to sows on the gastrointestinal microbiota of their neonatal piglets. *J. Animal Sci.* 2013;91(7):3390-3399. <http://doi.org/10.2527/jas.2012-5821>
14. Barba-Vidal E., Castillejos L., Roll V.F. et al. The probiotic combination of *Bifidobacterium longum subsp. Infantis* CECT 7210 and *Bifidobacterium animalis subsp. Lactis* BPL6 reduces pathogen loads and improves gut health of weaned piglets orally challenged with *Salmonella Typhimurium*. *Front Microbiol.* 2017;8:1570. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01570>
15. Ding H., Zhao X., Azad M.A.K. et al. Dietary supplementation with *Bacillus subtilis* and xylo-oligosaccharides improves growth performance and intestinal morphology and alters intestinal microbiota and metabolites in weaned piglets. *Food Funct.* 2021;12(58):5837-5849. <https://doi.org/10.1039/d1fo00208b>
16. Chen Y., Xie Y., Zhong R. et al. Effects of xylo-oligosaccharides on growth and gut microbiota as potential replacements for antibiotic in weaning piglets. *Front. Microbiol.* 2021;12:641172. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.641172>
17. Kherade M., Solanke S., Tawar M., Wankhede S. Fructooligosaccharides: A comprehensive review. *J. Ayu. Herb Med.* 2021;7(3):193-200. <https://doi.org/10.31254/jahm.2021.7305>
18. Asbury R.E., Saville B.A. Manno-oligosaccharides as a promising antimicrobial strategy: pathogen inhibition and synergistic effects with antibiotics. *Front. Microbiol.* 2025;16:1529081. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1529081>
19. Zhou M., Tao Y., Lai C. et al. Effects of mannanoligosaccharide supplementation on the growth performance, immunity, and oxidative status of partridge shank chickens. *Animals.* 2019;9:817. <https://doi.org/10.3390/ani9100817>
20. Aruwa C.E., Pillay C., Nyaga M.M. et al. Poultry gut health – microbiome functions, environmental impacts, microbiome engineering and advancements in characterization technologies. *J Animal Sci Biotechnol.* 2021;12:119. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00640-9>
21. Kuzmina I.V., Tolpygo S.M., Kotov A.V. et al. Intestinal digestion in poultry compared to other animal species with a diverse diet. *Front. Physiol.* 2024;15:1358524. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1358524>
22. Fisinin V.I., Egorov I.A., Manukyan V.A., Lenkova T.N. et al. State of the gastrointestinal tract microflora of laying hens when replacing corn with wheat in compound feed. *Poultry & Chicken Products.* 2016;(6):33-36. (In Russ.)
23. Cai L., Indrakumar S., Kiarie E., Kim I.H. Effects of a multi-strain *Bacillus* species-based direct-fed microbial on growth performance, nutrient digestibility, blood profile, and gut health in nursery pigs fed corn-soybean meal-based diets. *J Anim Sci.* 2015;93:4336-4342. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9056>
24. Che L., Hu L., Liu Y. et al. Dietary nucleotides supplementation improves the intestinal development and immune function of neonates with

- intra-uterine growth restriction in a pig model. *PLoS ONE*. 2016;11(6): e0157314. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157314>
25. Barilo O.A., Berlinskiy Yu.R., Merzlenko R.A., Mingaleeva L.A. Relevance of the use of probiotics and prebiotics in animal husbandry and veterinary medicine. *Actual Issues in Agricultural Biology*. 2023;(2(28)):5-9. (In Russ.)
 26. Murashov A.G., Ermolova E.M., Ermolov S.M., Rebezov M.B. et al. Use of a probiotic in the diet of sows. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;(5):234-238. (In Russ.)
 27. Kaloiev B.S. Influence of complex use of enzyme, probiotic and prebiotic preparations on broiler chickens' meat qualities. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2021;58-2:71-76. (In Russ.)
 28. Liu Y. Fatty acids, inflammation and intestinal health in pigs. *J Animal Sci Biotechnol*. 2015;6:41. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0040-1>
 29. Barba-Vidal E., Martín-Orúe S.M., Castillejos L. Practical aspects of the use of probiotics in pig production: A review. *Livestock Science*. 2019;223:84-96. <http://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.02.017>
 30. Gan F., Chen X., Liao S.F. et al. Selenium-enriched probiotics improve antioxidant status, immune function, and selenoprotein gene expression of piglets raised under high ambient temperature. *J Agric Food Chem*. 2014;62:4502-4508. <https://doi.org/10.1021/jf501065d>
 31. Giang H., Viet T., Ogle B. Effects of supplementation of probiotics on the performance, nutrient digestibility and faecal microflora in growing-finishing pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci*. 2011;24(5):655-661. <http://doi.org/10.5713/ajas.2011.10238>
 32. Giang H.H., Viet T.Q., Ogle B., Lindberg J.E. Growth performance, digestibility, gut environment and health status in weaned piglets fed a diet supplemented with a complex of lactic acid bacteria alone or in combination with *Bacillus subtilis* and *Saccharomyces boulardii*. *Livest Sci*. 2012;143(2-3):132-141. <http://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.09.003>
 33. Zabashta N.N., Golovko E.N., Sinelshchikova I.A. Correction of intestinal microbiocenosis in monogastrics. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana*. 2024;260(40):98-104. (In Russ.) https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_260_98
 34. Zabolotskaya T.V., Panyavina K.D., Shtaufen A.V. Interaction of yeast glucomannans with pathogenic and probiotic bacteria *in vitro*. *International Research Journal*. 2024;(12(150)). (In Russ.) <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.66> URL: <https://research-journal.org/archive/12-150-2024-december/10.60797/IRJ.2024.150.66> (accessed: May 18, 2025)
 35. Krishnamurthy H.K., Pereira M., Bosco J. et al. Gut commensals and their metabolites in health and disease. *Front. Microbiol*. 2023;14:1244293. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1244293>
 36. Keimer B., Pieper R., Simon A., Zentek J. Effect of time and dietary supplementation with processed yeasts (*Kluyveromyces fragilis*) on immunological parameters in weaned piglets. *Anim Feed Sci Technol*. 2018;245:136-146. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.09.008>
 37. Markowiak P., Śliżewska K. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathog*. 2018;10:21. <https://doi.org/10.1186/s13099-018-0250-0>
 38. Bermúdez-Humarán L.G., Chassaing B., Langella P. Exploring the interaction and impact of probiotic and commensal bacteria on vitamins, minerals and short chain fatty acids metabolism. *Microb Cell Fact*. 2024;23:172. <https://doi.org/10.1186/s12934-024-02449-3>
 39. Wu Y., Zhen W., Geng Y. et al. Effects of dietary *Enterococcus faecium* NCIMB11181 supplementation on growth performance and cellular and

- humoral immune responses in broiler chickens. *Poult Sci.* 2019;98(1):150-163. <http://doi.org/10.3382/ps/pey368>
40. Wu Z., Yang K., Zhang A. et al. Effects of *Lactobacillus acidophilus* on the growth performance, immune response, and intestinal barrier function of broiler chickens challenged with *Escherichia coli* O157. *Poult Sci.* 2021;100(9):101323. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101323>
 41. Gotkhal L., Gorbakova A. Comparative characteristics of butyrates used in productive livestock and poultry farming. *Kombikorma.* 2014;(5):43-45. (In Russ.)
 42. Drachelovskiy O.V. Application of short-chain and medium-chain acids in pig breeding. *Chetveriy Vsebelorusskiy Forum Zhivodnovodov.* Minsk, Belarus: Izdatelskiy dom Grevtsova, 2017:137-144. (In Russ.)
 43. Lenkova T.N., Troshkin A.N., Drachelovskiy O.V. Use of sodium butyrate is effective. *Ptitsevodstvo.* 2014;(12):21-26. (In Russ.)
 44. Sizikova T., Gorbakova A. Source of butyric acid in the intensification of poultry farming. *Kombikorma.* 2014;(7):67-68. (In Russ.)
 45. Hill C., Guarner F., Reid G., Gibson G.R. et al. Expert consensus document. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* 2014;11(8):506-514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>
 46. Yirga H. The use of probiotics in animal nutrition. *J Prob Health.* 2015;3:132. <https://doi.org/10.4172/2329-8901.1000132>
 47. Daudelin J.F., Lessard M., Beaudoin F. et al. Administration of probiotics influences F4 (K88)-positive enterotoxigenic *Escherichia coli* attachment and intestinal cytokine expression in weaned pigs. *Vet Res* 2011;42:69. <https://doi.org/10.1186/1297-9716-42-69>
 48. Zhang Y., Zhang Y., Liu F. et al. Mechanisms and applications of probiotics in prevention and treatment of swine diseases. *Porc Health Manag.* 2023;9:5. <https://doi.org/10.1186/s40813-022-00295-6>
 49. Liao S.F., Nyachoti M. Using probiotics to improve swine gut health and nutrient utilization. *Anim Nutr.* 2017;3(4):331-343. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.06.007>
 50. Raheem A., Liang L., Zhang G., Cui S. Modulatory Effects of Probiotics During Pathogenic Infections with Emphasis on Immune Regulation. *Front. Immunol.* 2021;12:616713. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.616713>
 51. Wu T., Wang G., Xiong Z. et al. Probiotics Interact With Lipids Metabolism and Affect Gut Health. *Front. Nutr.* 2022;9:917043. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.917043>
 52. Varankovich N.V., Nickerson M.T., Korber D.R. Probiotic-based strategies for therapeutic and prophylactic use against multiple gastrointestinal diseases. *Front. Microbiol.* 2015;6:685. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00685>
 53. Reiners J., Lagedroste M., Ehlen K., Leusch S. et al. The N-terminal Region of Nisin Is Important for the BceAB-Type ABC Transporter NsrFP from *Streptococcus agalactiae* COH1. *Front. Microbiol.* 2017;8:1643. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01643>
 54. Szydłowska A., Sionek B. Probiotics and Postbiotics as the Functional Food Components Affecting the Immune Response. *Microorganisms.* 2023;11:104. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010104>
 55. Hevia A., Delgado S., Sánchez B., Margolles A. Molecular Players Involved in the Interaction Between Beneficial Bacteria and the Immune System. *Front. Microbiol.* 2015;6:1285. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01285>
 56. Motran C.C., Silvano L., Chiapello L.S. et al. Helminth Infections: Recognition and Modulation of the Immune Response by Innate Immune Cells. *Front. Immunol.* 2018;9:664. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00664>

57. Vieco-Saiz N., Belguesmia Y., Raspoet R., Auclair E. et al. Benefits and Inputs From Lactic Acid Bacteria and Their Bacteriocins as Alternatives to Antibiotic Growth Promoters During Food-Animal Production. *Front. Microbiol.* 2019;10:57. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00057>
58. Rastogi S., Singh A. Gut microbiome and human health: Exploring how the probiotic genus *Lactobacillus* modulate immune responses. *Front. Pharmacol.* 2022;13:1042189. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1042189>
59. Soares A., Beraldi E.J., Ferreira P.E.B., Bazotte R.B. et al. Intestinal and neuronal myenteric adaptations in the small intestine induced by a high-fat diet in mice. *BMC Gastroenterol.* 2015;15:3. <https://doi.org/10.1186/s12876-015-0228-z>
60. Mohamed T.M., Sun W., Bumbie G.Z., Elokil A.A. et al. Feeding *Bacillus subtilis* ATCC19659 to broiler chickens enhances growth performance and immune function by modulating intestinal morphology and cecum microbiota. *Front Microbiol.* 2022;12:798350. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.798350>
61. Kaminsky L.W., Al-Sadi R., Ma T.Y. IL-1 β and the intestinal epithelial tight junction barrier. *Front. Immunol.* 2021;12:767456. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.767456>
62. Kim K., Song M., Liu Y., Ji P. Enterotoxigenic *Escherichia coli* infection of weaned pigs: Intestinal challenges and nutritional intervention to enhance disease resistance. *Front. Immunol.* 2022;13:885253. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.885253>
63. Mazur-Kuśnerek M., Lipiński K., Antoszkiewicz Z., Matusevičius P. Different forms of butyric acid in poultry nutrition – a review. *Journal of Animal and Feed Sciences.* 2024;33(3):270-280. <https://doi.org/10.22358/jafs/186022/2024>

Сведения об авторах

Николай Петрович Буряков, д-р биол. наук, профессор, заведующий кафедрой кормления животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: n.buryakov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6776-0835>

Менберг Виктор Викторович, аспирант кафедры кормления животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: viktor283www@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-6726-5965>

Information about the authors

Nikolay P. Buryakov, DSc (Bio), Professor, Head of the Department of Animal Feeding, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: n.buryakov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6776-0835>

Viktor V. Menberg, postgraduate student of the Department of Animal Feeding, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: viktor283www@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-6726-5965>