

Применение пробиотических препаратов в кормлении кур-несушек и цыплят-бройлеров (обзор)

Юрий Константинович Петруша¹, Дмитрий Алексеевич Силин¹,
Святослав Валерьевич Лебедев¹, Виктория Владимировна Гречкина^{1,2}

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, Россия

²Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия

e-mail: shadow752@yandex.ru

Аннотация. Цель данной статьи состоит в обобщении результатов исследований, полученных при изучении применения пробиотических кормовых добавок и их влияния на организмы цыплят-бройлеров и кур-несушек. На основании анализа результатов работ других авторов сделан вывод о положительном влиянии пробиотиков. Рассмотрены и проанализированы случаи применения фитобиотических препаратов, отражено их положительное влияние на организм сельскохозяйственных птиц. Практическое значение работы состоит в том, что предлагаемые пробиотические препараты могут быть рекомендованы к использованию в птицеводстве, а также обобщенные данные о пробиотиках позволяют быстрее и качественнее понять принцип их взаимодействия с организмом и прийти к пониманию их положительного использования. Основные методы исследования: исторический и системный анализ, методы сравнения, моделирования, обобщения.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры; куры-несушки; пробиотики; пробиотические препараты; кормовые добавки; кормление; сельскохозяйственная птица.

Для цитирования: Петруша Ю. К., Силин Д. А., Лебедев С. В., Гречкина В. В. Применение пробиотических препаратов в кормлении кур-несушек и цыплят-бройлеров (обзор) // Аграрный научный журнал. 2023. № 12. С. 116–121. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp116-121>.

VETERINARY MEDICINE AND ZOOTECHNICS

Original article

The application of probiotic preparations in the feeding of laying hens and broiler chickens (review)

Yuri K. Petrusha¹, Dmitriy A. Silin¹, Svyatoslav V. Lebedev¹, Victoria V. Grechkina^{1,2}

¹Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

²Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

e-mail: shadow752@yandex.ru

Abstract. The purpose of this article is to summarize the research results obtained in the study of the use of probiotic feed additives and their effect on the organisms of broiler chickens and laying hens. The scientific novelty consists in the fact that based on the analysis of the results of the work of other authors, a conclusion is made about the positive effect of probiotics. The cases of the use of phytobiotic preparations are considered and analyzed, their positive effect on the organism of farm birds is reflected. The practical significance of the work lies in the fact that the proposed probiotic preparations can be recommended for use in poultry farming, as well as generalized data on probiotics make it possible to quickly and better understand the principle of their interaction with the body and come to an understanding of their positive use. Main research methods are historical and system analysis, methods of comparison, modeling, and generalization.

Keywords: broiler chickens; laying hens; probiotics; probiotic preparations; feed additives; feeding, agricultural poultry.

For citation: Petrusha Yu. K., Silin D. A., Lebedev S. V., Grechkina V. V. The application of probiotic preparations in the feeding of laying hens and broiler chickens (review). Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(12):116–121. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp116-121>.

Птицеводство является одной из крупнейших отраслей пищевой промышленности в мире. В ближайшем будущем, к 2050 г., прогнозируется, что она составит 121 % от производственных показателей 2005 г. На мясо птицы приходится 70 % всего потребляемого мяса. В частности, производство бройлеров продемонстрировало экспоненциальный рост мирового потребления мяса. Это может быть связано с такими преимуществами, как хорошее качество продукции, низкое содержание жира, короткий период производства, низкая стоимость производства, а также бы-



стрый экономический прогресс и доступность. Производство выросло с 9 до 135 млн т с 1961 по 2022 г. [1].

Для поддержания благополучия животных, стимулирования роста и повышения эффективности используются различные препараты и кормовые добавки. Так, например, антибиотики практикуются уже более 50 лет. Однако еще в 1950-х годах исследователи проявили обеспокоенность по поводу развития резистентности бактерий к антибиотикам стрептомицину и тетрациклину, которые использовались в кормлении сельскохозяйственных животных и птиц. Эти результаты заложили основу для введения более строгих нормативных параметров использования антибиотиков в кормах для домашней птицы, а также стимулировали к поиску аналогичных препаратов [2]. Одними из наиболее перспективных аналогов антибиотикам стали пробиотики.

Определение пробиотиков и виды бактерий, используемые для их создания. Пробиотики являются жизнеспособными бактериями, которые при доставке в достаточном количестве могут улучшить здоровье хозяина. Помимо ряда в основном грамположительных бактерий, некоторые дрожжи и плесень также использовались в качестве пробиотиков. Бактериальные роды, наиболее часто используемые в качестве пробиотиков, включают в себя *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Bifidobacterium* и *Streptococcus*. Пробиотики влияют на кишечник с помощью одного или комбинации механизмов, в том числе они модулируют иммунную систему хозяина, обеспечивают энергию через производство SCFA и влияют на структуру, целостность и функцию кишечника. Пробиотики также непосредственно влияют на другие бактерии, включая патогены, путем производства метаболитов и антимикробных соединений, занятия экологических ниш в кишечнике, чтобы конкурентно исключить колонизацию других бактерий и путем снижения просветного pH. Некоторые пробиотические бактерии прикрепляются к рецепторам на энтероцитах и активируют Toll-подобные рецепторы (TLR), что приводит к индукции экспрессии цитокинов [3].

Механизмы действия пробиотиков. Функционирование пробиотиков происходит благодаря взаимодействию бактерий с бактериями и хозяина с бактериями. Взаимодействие бактерий и хозяина приводит к производству короткоцепочных жирных кислот, изменению окислительно-восстановительного потенциала, производству антимикробных соединений, конкуренции за эпителиальные рецепторы, чувству кворума и созданию экосистем, непригодных для колоний патогенных бактерий. Пробиотические штаммы бактерий имеют клеточные стенки, содержащие такие компоненты, как капсульный полисахарид, пептидогликан, тейхоевые кислоты и липопотеины [4]. Эти молекулярные компоненты представляют собой ассоциированные с микробами молекулярные паттерны, которые распознаются специфическими рецепторами распознавания паттернов слизистой оболочки кишечника хозяина, чтобы стимулировать иммунную систему к подавлению патогенов [4].

Общее влияние пробиотиков на организм кур-несушек. Сообщалось, что рационы, дополненные пробиотиками, значительно улучшают производительность птиц с точки зрения производства и качества яиц [5, 6]. Пробиотики улучшают экосистему кишечника в слоях, балансируя многие микробные роды. Например, используя культуральную среду в качестве метода количественного определения, *Bacillus subtilis* увеличил количество бифидобактерий и лактобактерий и уменьшил клостридии и кишечную палочку [5]. Пробиотические добавки восстановили кишечную экосистему, нарушенную *Salmonella typhimurium*, и увеличили выработку бутирата [7, 8]. Штамм *Pediococcus acidilactici* снижал уровень холестерина в яичном желтке и улучшал минерализацию большеберцовой кости [6]. Штамм *Enterococcus faecium* и фруктоолигосахариды значительно снижали уровень холестерина в сыворотке крови кур и улучшали качество яиц [9]. Некоторые пробиотики снижали патогенную бактериальную нагрузку, улучшали баланс кишечной микробиоты и укрепляли иммунную систему слизистой оболочки кишечника.

Общее влияние пробиотиков на организм цыплят-бройлеров. Было продемонстрировано, что добавление пробиотиков приносит пользу сельскохозяйственным животным в плане иммуномодуляции, структурной модуляции и увеличения выработки цитокинов, которые положительно влияют на слизистую оболочку кишечника против патогенов [10]. Кроме того, включение в рацион пробиотических кормовых добавок способствует увеличению производства белка птицы для потребления человеком, что в некоторых случаях может снизить стоимость продукции животноводства и птицеводства. Пробиотики продемонстрировали множество полезных свойств, способных улучшать иммунитет, структуру кишечника и барьерную функцию кишечника у бройлеров [11].

Введение пробиотических препаратов в организм. Существует множество различных методов введения пробиотических препаратов цыплятам-бройлерам: через корм, воду, желудочный зонд (включая капельный или инокуляционный), спрей или подстилку, но наиболее часто используемый метод в птицеводстве – добавление в корм [10].

Ученые использовали различные методы и инструменты, в том числе методы, зависящие от культуры, метагеномное секвенирование и исследования *in vivo*, чтобы исследовать влияние пробиотиков на функцию, разнообразие и состав кишечной микробиоты. Однако наиболее эффективным методом получения





точных результатов является введение пробиотиков *in vivo*. В нескольких исследованиях была задокументирована профилактическая и защитная роль пробиотиков, особенно молочнокислых бактерий, против инфекций *Salmonella enterica serovar enteritidis* и *Escherichia coli* у сельскохозяйственных птиц. Кроме того, сообщалось о потенциальной роли пробиотиков в обогащении и модификации рациона и состава кишечного микробиома за счет снижения роста патогенов и повышения количества полезных микроорганизмов [12].

Бактерии по своей природе конкурентоспособны, поэтому они пытаются устранить патогенные бактерии, которые могут негативно повлиять на кишечный тракт. Это часто называют конкурентным исключением. Пробиотики, пребиотики и синбиотики обладают свойствами конкурентного исключения [13]. Создание бактерий, устойчивых к патогенным штаммам, у цыплят-бройлеров путем введения кишечных микроорганизмов известно как концепция Нурми [14]. Кишечные инфекции вызываются патогенами, доминирующими в местах спаек или на поверхности слизистых оболочек, что нарушает баланс микробиоты в кишечнике. Полезной характеристикой пробиотиков является их способность прикрепляться к выстилке кишечного эпителия, что увеличивает время пребывания пробиотиков в ЖКТ. Усиленное размножение пробиотических бактерий занимает больше места в кишечнике, что исключает патогены из-за конкуренции. Это приводит к увеличению потребления питательных веществ птицей [15, 16].

Влияние пробиотических препаратов на желудочно-кишечный тракт цыплят-бройлеров. Пробиотики попадают в организм птицы и вызывают физиологические изменения в структуре тканей кишечника, что влечет за собой иммунологические изменения в желудочно-кишечном тракте. Эти иммунологические изменения повышают устойчивость животного к патогенным бактериям. Пробиотики могут продуцировать короткие органические жирные кислоты и метаболиты с антимикробной активностью. Эти метаболиты могут активировать рецепторы для стимуляции иммунной системы [17, 18].

Некоторые штаммы пробиотиков обладают уникальной способностью выживать в экстремальных условиях у своих хозяев. Они могут перемещаться по желудочно-кишечному тракту и оставаться жизнеспособными при воздействии особенно кислых сред, таких как желудочная кислота и желчь. Данный процесс реализуем достаточно трудно, так как pH желудка многих животных колеблется от 1,5 до 3,0. Более того, есть соли желчных кислот и несколько желудочных, кишечных ферментов, которые вызывают расщепление микробов. Вегетативные клетки пробиотических бактерий имеют мало шансов пройти через желудок из-за его экстремальных условий. Однако современные данные показывают, что споры прорастают и выживают по всему желудочно-кишечному тракту. Бактерии могут прилипать к частицам корма, чтобы помочь защитить его при прохождении через тело животного [17]. Респоруляция – это самый простой способ переноса бактерий, чтобы выжить при перемещении по всему телу животного. Рацион животного напрямую влияет на способность спор прорасти и размножиться, поскольку споры зависят от обильных питательных веществ для процветания [19].

Пробиотики оказывают большое влияние на состав и функцию микробиома кишечника. Предлагаемые механизмы пробиотиков для выполнения этих воздействий включают конкуренцию с другими микроорганизмами за питательные вещества, воздействуют на участки связывания и рецепторы на слизистой оболочке кишечника и подавление роста других микробов за счет продукции противомикробных агентов. Иммунная модуляция, выработка органических кислот, снижение pH кишечника и стимуляция защитных систем хозяина также являются потенциальными механизмами антагонистической активности пробиотиков в отношении патогенных бактерий [20]. Кроме того, пробиотики могут снижать транслокацию патогенов через слизистую оболочку кишечника за счет повышения целостности кишечного барьера и поддержания иммунной толерантности.

Микробиом желудочно-кишечного тракта цыплят-бройлеров тщательно изучен. Было убедительно продемонстрировано, что он играет важную роль в здоровье хозяина, поскольку оказывает положительное влияние на иммунную систему, физиологию желудочно-кишечного тракта и продуктивность [20, 21]. Кроме того, микробиота кишечника участвует в снижении и предотвращении колонизации кишечными патогенами посредством процесса конкурентного исключения и выработки бактериостатических и бактерицидных веществ. На таксономический состав микробиоты влияют различные факторы, такие как орган, возраст животного, рацион питания и применение противомикробных препаратов. Различные виды добавок, которые регулируют микробное сообщество в кормах, включают в себя пробиотики и пребиотики: ингредиенты, которые стимулируют повышенную полезную микробную активность в пищеварительной системе с целью улучшения здоровья хозяина. Кроме того, в состав добавок входят фитобиотики: первичные или вторичные компоненты растений, содержащие биологически активные соединения, которые оказывают положительное влияние на рост и здоровье животных [22].

Иммуномодулирующее действие пробиотиков на кур-несушек. Пробиотики влияют на иммунные функции хозяина несколькими путями. Исследования *in vitro* показали, что созревание дендритных клеток человека и выработка интерлейкина-10 могут быть индуцированы связыванием *Lactobacillus reuteri*



и *Lactobacillus casei* с CD209 [23]. Другие пробиотики, такие как *Lactobacillus acidophilus* NCFM, *L. rhamnosus* GG и *Lactobacillus plantarum* WCFS1, способны вызывать сигналы через Толл-подобные рецепторы посредством выработки липотейхоевой кислоты, содержащей ди-ацил или три-ацил гликолипиды [24, 25]. В целом, взаимодействие между пробиотиками и клетками хозяина приводит к выработке естественных и антиген-специфических антител, индукции сигналов через Толл-подобные рецепторы, регуляции Т-клеток и цитокинов. Похоже, что существует синергия между вакцинами и пробиотиками в их действии на иммунную систему кишечника. Она может модулировать уничтожение патогенов, так как совместное введение *L. reuteri* и *Anaerosporebacter mobilis* с вакциной на основе N-гликана приводило к снижению колонизации кишечника *Campylobacter jejuni* и улучшению иммунного ответа (антитела IgY в сыворотке крови) и состава микробиоты кишечника у несушек леггорн, свободных от специфических патогенов [26]. Эти результаты показывают, что пробиотики могут использоваться как в профилактических, так и в терапевтических целях для стимулирования экспрессии цитокинов, чтобы модулировать иммунную систему хозяина против патогенов.

Пробиотики и динамика муцина. В просвете желудочно-кишечного тракта переваривание и всасывание происходят с помощью широкого спектра микробных видов. Всасывание происходит на щеточной кайме, в которую вовлечены поверхностные эпителиальные отростки. Эта эпителиальная поверхность включает бокаловидные клетки. Они выделяют слизистую жидкость, покрывающую эпителиальную поверхность и защищающую ее от вредных внутрипросветных компонентов, включая патогены [27, 28]. Чтобы вызвать повреждение, кишечные патогены должны прикрепиться к эпителиальным клеткам и проникнуть в них, а это может произойти только путем проникновения в этот слизистый слой. Следовательно, наличие неповрежденного слизистого слоя предотвращает бактериальную передачу. Было обнаружено взаимодействие между кишечной микрофлорой и кишечным муцином. Также указывалось на конкуренцию между полезными и патогенными бактериями за участки бактериальной адгезии в муцине. Кроме того, кишечная микробиота и продукты ее ферментации играют центральную роль в биосинтезе, секреции и обмене муцина. С одной стороны, продуцируются ферменты, разлагающие муцин, которые играют важную роль в деградации слизи из-за ее устойчивости к кишечным протеолитическим ферментам, а с другой – стимулируется экспрессия генов муцина посредством продукции простагландинов. Кроме того, бактериальная популяция кишечника влияет на пролиферацию клеток слизистой оболочки [29].

Следовательно, становится ясно, что пробиотические добавки в птицеводстве изменяют микроокружение кишечника и могут вызывать изменения динамики муцина в желудочно-кишечном тракте цыплят. Кишечная микрофлора взаимодействует с муцином на многих различных уровнях. Установлено, что популяции кишечных бактерий влияют на пролиферацию клеток слизистой оболочки. Исследования *in vivo* и *in vitro* показали, что как биосинтез, так и секреция муцина могут изменяться в присутствии бактериального липополисахарида, бактерий и продуктов бактериальной ферментации. Предположительно, некоторые штаммы пробиотических бактерий воздействуют на секрецию и синтез муцина посредством продукции простагландина [27, 30]. Добавление местных пробиотиков молочнокислых бактерий в рацион увеличивало высоту ворсинок, тощую и подвздошную кишку, ширину ворсинок двенадцатиперстной кишки и улучшало экспрессию мРНК муцина в подвздошной части. Эти результаты позволяют сделать вывод о том, что молочнокислые бактерии могут стимулировать пролиферацию кишечного эпителия и регулировать слизистый барьер, образованный муцином в тонком кишечнике птиц.

Использование пробиотических добавок в рационе не изменило морфологию тонкой кишки, но улучшило накопление муцина в бокаловидных клетках, о чем свидетельствует размер «чаши» во всех сегментах тонкой кишки [31]. Ожидается, что это следует из повышенной экспрессии мРНК муцина и повышенного уровня гликопротеина муцина, которые были отмечены в части тощей кишки после приема пробиотика. Эта добавка состояла в основном из видов *Bifidobacterium* и *Lactobacillus*, что объясняет повышенную секрецию и синтез муцина [32]. В исследовании N.K. Emami et al. [31] пробиотик влиял только на количество бактерий в подвздошной кишке, в которой наблюдалось увеличение доли видов *Lactobacillus* по сравнению с группами без добавок. Ранее сообщалось об аналогичном отсутствии пробиотического действия на бактериальные популяции тонкого кишечника [33]. Таким образом, использование обоих пробиотиков в рационе изменило бактериальную популяцию тонкого кишечника и повлияло на динамику муцина и кишечного эпителия. Эти изменения могут влиять на здоровье и функцию кишечника, а также на усвоение питательных веществ.

Улучшение качества яиц у кур-несушек на поздней стадии производства. Снижение качества яичной скорлупы у старых кур-несушек хорошо известно в птицеводстве. Добавка *B. subtilis* в рацион могла улучшить качество скорлупы яиц кур-несушек на поздней стадии производства [34]. В дополнение к благоприятному воздействию добавок *B. subtilis* на толщину, массу и соотношение скорлупы яиц они также улучшили прочность скорлупы на разрыв. Повышение прочности скорлупы было результатом положи-



тельного влияния на баланс микрофлоры кишечника, вызванного добавлением *B. subtilis* [35]. Изменения в микрофлоре кишечника могут влиять на баланс микрофлоры яйцевода через клоаку [36], что может изменить состав микробных компонентов, разлагающих органический матрикс, а затем повлиять на прочность скорлупы [37].

Добавление *B. subtilis* в исследованиях показало улучшение конверсии корма к получению яиц [38], что связано с повышением доступности питательных веществ. Об этом свидетельствует увеличение высоты ворсинок, вызванное добавлением *B. subtilis*, что повысило усвоение питательных веществ птицей [39]. Таким образом, кормление кур-несушек на поздней стадии производства (72–79 недель) комбинацией с добавлением *B. subtilis* может улучшить производительность.

Сообщалось, что снижение всасывания Са в кишечнике отчасти является причиной снижения качества скорлупы яиц у пожилых кур-несушек [24, 40]. В соответствии с другими исследованиями [11, 17], улучшение качества скорлупы яиц являлось результатом повышенного всасывания Са в кишечнике, на что указывает наблюдаемая более высокая ретенция Са и уровень Са в сыворотке крови. Таким образом, добавка *B. subtilis* в рацион может увеличить всасывание Са в кишечнике. Более того, добавка *B. subtilis* в рацион увеличила содержание Са в скорлупе яиц, не повлияв на содержание Са в голени. Это указывает на то, что улучшенное усвоение Са в основном откладывается в скорлупе. Количество и состав органической матрицы и процесс переноса ионов во время формирования скорлупы также могут влиять на осаждение Са [41].

Кишечное поглощение Са у кур-несушек после достижения половой зрелости в основном опосредовано трансцеллюлярным и парацеллюлярным путями [7, 22]. CALB1 является основным компонентом процесса трансцеллюлярного активного транспорта при всасывании Са в двенадцатиперстной кишке и верхней части тощей кишки. Уровень относительной мРНК CALB1 в двенадцатиперстной кишке, повышенный добавлением *B. subtilis*, увеличивает скорость внутриклеточной диффузии и общую цитозольную концентрацию Са [42]. Повышение относительного уровня мРНК CALB1 может быть причиной того, что добавление *B. subtilis* увеличило поглощение Са. Кроме того, в соответствии с другими исследованиями [43], добавление *B. subtilis* в рацион увеличивало высоту ворсинок. Увеличение площади всасывания и улучшение морфологии кишечника может быть еще одной причиной увеличения поглощения Са, вызванного добавлением *B. subtilis*.

Таким образом, микробиота кишечника связана со здоровьем и продуктивностью птиц. Имеющаяся литература свидетельствует о том, что кишечная микробиота только что вылупившихся цыплят проходит различные стадии созревания. Однако необходимы дальнейшие исследования, чтобы четко понять влияние возраста, условий выращивания и факторов стресса на развитие и созревание микробиоты в различных сегментах кишечника.

Добавки пробиотиков в рацион оказывают модулирующее влияние на состав микробиоты у сельскохозяйственных птиц. В изученной литературе представлены полезные свойства пробиотических препаратов. Пробиотики положительно влияют на динамику живой массы цыплят-бройлеров, а также на качество яиц и снижение травматического поведения кур-несушек. Производственные показатели возрастают при добавлении в рацион пробиотических кормовых добавок.

Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 22-16-00070 «Разработка новых подходов к повышению продуктивности сельскохозяйственной птицы с использованием биокоординационных соединений и микробиальных препаратов различной природы».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/ REFERENCES

1. Clavijo V., Flórez M. J. V. The gastrointestinal microbiome and its association with the control of pathogens in broiler chicken production: A review. *Poult Sci.* 2018;1;97(3):1006–1021.
2. Probiotics in poultry feed: A comprehensive review / M. E. Abd El-Hack et al. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2020;104(6):1835–1850.
3. Alagawany M., Abd El-Hack M. E., El-Kholy M. S. Productive performance, egg quality, blood constituents, immune functions, and antioxidant parameters in laying hens fed diets with different levels of *Yucca schidigera* extract. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2016;Apr;23(7):6774–82.
4. Dietary Phytogetic Extracts Favorably Influence Productivity, Egg Quality, Blood Constituents, Antioxidant and Immunological Parameters of Laying Hens: A Meta-Analysis / A. Darmawan et al. *Animals (Basel)*. 2022;Sep2;12(17):2278.
5. Research Note: Effects of riboflavin on reproductive performance and antioxidant status of duck breeders / B. Zhang et al. *Poult Sci.* 2020 Mar;99(3):1564–1570.
6. Does the gradual increase in dietary zinc oxide supplementation can affect egg quality, serum indices, and productive performance of laying hens? / M. E. Abd El-Hack et al. *Trop Anim Health Prod.* 2020;Mar;52(2):525–531.
7. Khan S., Chousalkar K. K. *Salmonella* Typhimurium infection disrupts but continuous feeding of *Bacillus* based probiotic restores gut microbiota in infected hens. *J Anim Sci Biotechnol.* 2020;(11):29.
8. Khan S., Chousalkar K. K. Short-term feeding of probiotics and synbiotics modulates caecal microbiota during *Salmonella* Typhimurium infection but does not reduce shedding and invasion in chickens. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2020;104:319–334.

9. Abdel-Wareth A. A. Effect of dietary supplementation of thymol, synbiotic and their combination on performance, egg quality and serum metabolic profile of Hy-Line Brown hens. *Br Poult Sci.* 2016;57:114–122.
10. Li L., Li W. F., Liu S. Z., Wang H. H. Probiotic fermented feed improved the production, health and nutrient utilisation of yellow-feathered broilers reared in high altitude in Tibet. *Br Poult Sci.* 2020;Dec;61(6):746–753.
11. Liu T., Tang J., Feng F. Medium-chain α -monoglycerides improves productive performance and egg quality in aged hens associated with gut microbiota modulation. *Poult Sci.* 2020;Dec;99(12):7122–7132.
12. Ayalew H., Zhang H., Wang J., Wu S., Qiu K., Qi G., Tekeste A., Wassie T., Chanie D. Potential Feed Additives as Antibiotic Alternatives in Broiler Production. *Front Vet Sci.* 2022 Jun 17;9:916473.
13. Probiotics and potential applications for alternative poultry production systems / R. E. Jeni et al. *Poult Sci.* 2021;Jul;100(7):101–156.
14. Effects of licorice extract, probiotic, toxin binder and poultry litter biochar on performance, immune function, blood indices and liver histopathology of broilers exposed to aflatoxin-B1/ N. Rashidi et al. *Poult Sci.* 2020;Nov;99(11):5896–5906.
15. Saliu E. M., Vahjen W., Zentek J. Types and prevalence of extended-spectrum beta-lactamase producing Enterobacteriaceae in poultry. *Anim Health Res Rev.* 2017;Jun;18(1):46–57.
16. Role of Yeast and Yeast-Derived Products as Feed Additives in Broiler Nutrition / R. M. Bilal et al. *Anim Biotechnol.* 2021;Jun;30:1–10.
17. Śmiałek M., Kowalczyk J., Koncicki A. The Use of Probiotics in the Reduction of Campylobacter spp. Prevalence in Poultry. *Animals (Basel).* 2021;May; 10;11(5):1355.
18. Gilani S., Chrystal P.V., Barekatin R. Current experimental models, assessment and dietary modulations of intestinal permeability in broiler chickens. *Anim Nutr.* 2021;Sep;7(3):801–811.
19. Emami N. K., Dalloul R. A. Centennial Review: Recent developments in host-pathogen interactions during necrotic enteritis in poultry. *Poult Sci.* 2021; Sep;100(9):101–330.
20. Different combinations of probiotics improve the production performance, egg quality, and immune response of layer hens / J. L. Zhang et al. *Poult Sci.* 2012; Nov;91(11):2755–2760.
21. Probiotic *Paenibacillus polymyxa* 10 and *Lactobacillus plantarum* 16 enhance growth performance of broilers by improving the intestinal health / B. Wang et al. *Anim Nutr.* 2021;Sep;7(3):829–840.
22. Петруша Ю. К., Лебедев С. В., Гречкина В. В. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственной птицы (обзор) [Petrusha Yu. K., Lebedev S. V., Grechkina V. V. Phytobiotics in poultry feeding (review)]. *Animal husbandry and feed production.* 2022;105(1):103–118. (In Russ.)]
23. Effects of dietary Zn-methionine supplementation on the laying performance, egg quality, antioxidant capacity, and serum parameters of laying hens / L. L. Li et al. *Poult Sci.* 2019;Feb;1;98(2):923–931.
24. Sodium humate alters the intestinal microbiome, short-chain fatty acids, eggshell ultrastructure, and egg performance of old laying hens / C. Li et al. *Front Vet Sci.* 2022;Oct;12(9):986562.
25. Multi-spectrometric analyses of lipoteichoic acids isolated from *Lactobacillus plantarum* / K. S. Jang et al. *Biochem Biophys Res Commun.* 2011; 407:823–830.
26. Chemical Compositions of Egg Yolks and Egg Quality of Laying Hens Fed Prebiotic, Probiotic, and Synbiotic Diets / S. G. Tang et al. *J Food Sci.* 2015; Aug;80(8):C1686–1695.
27. Progress on Gut Health Maintenance and Antibiotic Alternatives in Broiler Chicken Production / Q. Zhu et al. *Front Nutr.* 2021;Nov;17;8:692839.
28. Feed-additive probiotics accelerate yet antibiotics delay intestinal microbiota maturation in broiler chicken / P. Gao et al. *Microbiome.* 2017;Aug; 3;5(1):91.
29. Wyszynska A. K., Godlewska R. Lactic Acid Bacteria - A Promising Tool for Controlling Chicken *Campylobacter* Infection. *Front Microbiol.* 2021;Sep; 28;12:703441.
30. Effects of fulvic acid addition on laying performance, biochemical indices, and gut microbiota of aged hens / G. Xiao et al. *Front Vet Sci.* 2022;Sep; 2;9:953564.
31. Managing broilers gut health with antibiotic-free diets during subclinical necrotic enteritis / N. K. Emami et al. *Poult Sci.* 2021;May;100(5):101055.
32. Dietary effect of probiotics and prebiotics on broiler performance, carcass, and immunity / A. Rehman et al. *Poult Sci.* 2020;Dec;99(12):6946–6953.
33. Ren H., Zentek J., Vahjen W. Optimization of Production Parameters for Probiotic *Lactobacillus* Strains as Feed Additive. *Molecules.* 2019;Sep; 9;24(18):3286.
34. Ellen E. D., Bijma P. Can breeders solve mortality due to feather pecking in laying hens? *Poult. Sci.* 2019;98:3431–3442.
35. Importance of basic research on the causes of feather pecking in relation to welfare / L. B. Fijn et al. *Animals.* 2020;(10):213.
36. A novel model to explain extreme feather pecking behaviour in laying hens / H. Iffland et al. *Behav. Genet.* 2020;(50):41–50.
37. Prenatal and Early Postnatal behavioural programming in laying hens, with possible implications for the development of injurious pecking / E. N. De Haas et al. *Front. Vet. Sci.* 2021;8:678500.
38. Pecking behaviour in conventional layer hybrids and dual-purpose hens throughout the laying period / L. Rieke et al. *Front. Vet. Sci.* 2021;8:660400.
39. Kuenze W. J. Neurobiological basis of sensory perception: Welfare implications of beak trimming. *Poult. Sci.* 2007;86:1273–1282.
40. Effects of Chinese herbal mixture on performance, egg quality and blood biochemical parameters of laying hens / X. L. Li et al. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 2016; Dec;100(6):1041–1049.
41. Feather pecking in laying hens housed in free-range or furnished-cage systems on French farms / J. Coton et al. *Br. Poult. Sci.* 2019;60:617–627.
42. Effects of litter and additional enrichment elements on the occurrence of feather pecking in pullets and laying hens – A focused review / R. Schreiter et al. *Vet. Med. Sci.* 2019;(5):500–507.
43. A meta-analysis on the effect of environmental enrichment on feather pecking and feather damage in laying hens / N. Van Staaveren et al. *Poult. Sci.* 2021;100:397–411.

Статья поступила в редакцию 13.02.2023; одобрена после рецензирования 24.03.2023; принята к публикации 05.04.2023.
The article was 13.02.2023; approved after 24.03.2023; accepted for publication 05.04.2023.

