

УДК 579.64

ЭФФЕКТ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ЛАКТОБАКТЕРИЙ НА МИКРОБИОТУ КИШЕЧНИКА И МОРФОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕПЕЛОВ

© 2024 г. Е. А. Гаврилова^{а, *}, О. С. Карасева^а, Я. М. Монир^а,
А. М. Ежкова^б, В. О. Ежков^б, Р. А. Волков^б, А. М. Сенина^а,
Д. Р. Хуснутдинова^а, Е. В. Никитина^{а, с}, Д. Р. Яруллина^а, А. Р. Каюмов^а

^аКазанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008, Россия

^бКазанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана, 420061, Казань, Россия

^сКазанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, 420015, Россия

*e-mail: Alalila@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.10.2023 г.

После доработки 23.12.2023 г.

Принята к публикации 25.12.2023 г.

В работе показан эффект внесения в корм перепелов биомассы *Lactiplantibacillus plantarum* AG10. У перепелов, получавших в течение семи недель пробиотическую кормовую добавку, отмечено значимое улучшение таких хозяйственных показателей, как динамика живой массы, масса потрошенной тушки и расход кормов на 1 кг прироста. С помощью анализа библиотек последовательностей генов 16S рРНК, секвенированных на платформе Illumina MiSeq, обнаружены сдвиги в микробиоте слепой кишки, которые могут способствовать улучшению морфолого-физиологических показателей перепелов.

Ключевые слова: перепела, пробиотик, кормовая добавка, лактобактерии

DOI: 10.31857/S0026365624040148

Перепеловодство является молодой отраслью российского сельского хозяйства. Развитию данного направления способствуют короткий период инкубации, скороспелость, маленькие размеры птиц, высокие яйценоскость и мясная продуктивность, вкусовые и диетические свойства мяса и яиц (Путивская, Норовяткин, 2022). Промышленное выращивание перепелов, как и другой сельскохозяйственной птицы, предполагает высокую плотность поголовья на малых площадях, что усиливает техногенную и антропогенную нагрузку на организм, приводит к снижению продуктивности и увеличивает летальность поголовья (Алиев и соавт., 2008). Обеспечить биологическую защиту и повысить продуктивность сельскохозяйственных птиц позволяют пробиотики — живые микроорганизмы, которые оказывают благотворное действие на организм (Hill et al., 2014). Пробиотики нормализуют микробиоценоз желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), оказывают иммуномодулирующее действие, повышают устойчивость организма к патогенным бактериям и вирусам, проявляют детоксикационные эффекты, стимулируют функциональное

состояние пищеварительной системы, синтезируют витамины, аминокислоты и ферменты, за счет чего улучшают конверсию кормов (Jha et al., 2020). В качестве пробиотиков в птицеводстве обычно используются представители родов *Bifidobacterium*, *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Streptococcus*, а также дрожжи *Candida* (Park et al., 2016). Известно, что пробиотические свойства лактобактерий видо- и даже штаммоспецифичны (Campana et al., 2017). В данной работе в качестве основы пробиотической кормовой добавки использовали штамм *Lactiplantibacillus plantarum* AG10, выделенный нами из силоса. Высокая антагонистическая активность, адгезивность, устойчивость к факторам ЖКТ и кислотообразующая активность позволяют отнести его к пробиотическим (Hill et al., 2014; Gavrilova et al., 2019).

Целью данной работы являлась оценка эффективности применения пробиотической добавки на основе биомассы *L. plantarum* AG10 в кормовом рационе перепелов.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом КФУ (протокол № 40 от 9 марта 2023 г.). Двухнедельных перепелов мясного направления

продуктивности породы Техасский белый с начальной живой массой около 150 г содержали в трехуровневых клетках с одинаковыми условиями освещенности и постоянным доступом к воде. Кормление осуществляли комбикормом ДК-52 для перепелов (АО “Богдановичский комбикормовый завод”, г. Богданович, Россия). Птицы опытной группы ($n = 8$) в течение семи недель ежедневно дополнительно получали 1 мл пробиотического препарата, который представлял собой биомассу отмытых от питательной среды клеток *L. plantarum* AG10, помещенных в концентрации 10^9 КОЕ/мл в питательную основу следующего состава (%): сухая молочная сыворотка – 10.0; дрожжевой экстракт – 1.0; сахароза – 0.5. Птицы контрольной группы ($n = 8$) получали питательную основу в той же концентрации.

В процессе опыта еженедельно фиксировали живую массу перепелов путем индивидуального взвешивания, биоконверсию корма рассчитывали путем деления потребленного корма на прирост массы тела на 44-ый день. Птиц выводили из эксперимента на девятой неделе жизни в технологический период их убоя на мясо, согласно Ветеринарным правилам убоя животных. Учитывали живую массу птицы, массу туши, брюшного жира, грудной мышцы и внутренних органов. Пробы крови из яремной вены анализировали на приборе ChemWell2902 (“Awareness” Technology, США) с использованием наборов SPINREACT S.A. (Испания). Содержимое слепой кишки перепелов использовали в качестве образцов для анализа кишечной микробиоты путем секвенирования переменных участков V3 и V4 гена 16S рРНК на приборе MiSeq (“Illumina”, США). Статистический анализ проводили с помощью программного пакета GraphPad Prism 6.0.

Использование в кормлении перепелов кормовой добавки на основе биомассы *L. plantarum* AG10

приводило к значимому улучшению таких хозяйственных показателей, как динамика живой массы и расход кормов на 1 кг прироста (рис. 1а, 1б, 1г). В опытной группе превышение по массе потрошеной тушки относительно контроля составило 13.1% ($p < 0.05$), а затраты кормов на 1 кг прироста снизились на 12.7% (3.5 кг).

У птиц, получавших пробиотическую добавку, масса мускульного желудка была на 18.9% больше ($p < 0.05$), чем у контрольных перепелов, питавшихся комбикормом без добавок (рис. 1в). Известно, что у бройлеров увеличение массы мышечного желудка коррелирует с улучшением пищеварительных функций и зоотехнических показателей, таких как живая масса и коэффициент конверсии корма. Хорошо развитый мышечный желудок лучше измельчает пищу, стимулирует перистальтику кишечника, способствует высвобождению холецистокинина, который стимулирует секрецию панкреатических ферментов и гастродуоденальные рефлексы (Полонский, Сумина, 2021). Возможно, с этой особенностью птиц опытной группы связано обнаруженное у них превышение содержания альбумина в крови и средней концентрации гемоглобина в крови и в эритроцитах относительно птиц контрольной группы (дополнительные материалы, табл. S1). Масса грудных мышц в опытной группе составила 54.1 ± 8.1 г и имела тенденцию к повышению по сравнению с контролем (48.1 ± 6.9 г), однако достоверной разницы не обнаружено ($p > 0.1$). Отношение массы грудных мышц к массе потрошеной тушки существенно не отличалось в двух группах (48.1 ± 6.9 и 54.1 ± 8.1 г). Масса сердца, печени и селезенки в возрасте 69 дней не отличались у птиц опытной и контрольной групп.

Абдоминальный жир служит важным показателем для качества тушек. Наряду с другими жировыми отложениями, он обуславливает сочность мяса

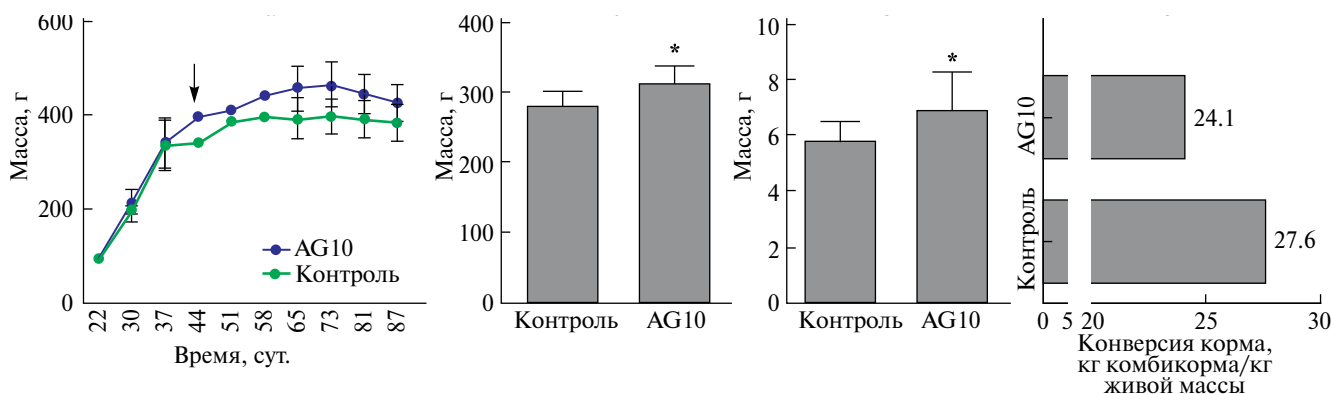


Рис. 1. Эффект внесения *L. plantarum* AG10 в качестве пробиотической добавки в корм на массу перепелов и конверсию корма: а – живая масса перепелов в ходе эксперимента; б – масса потрошеной тушки в конце эксперимента; в – масса мускульного желудка в конце эксперимента; г – коэффициент конверсии корма (кг комбикорма / кг живой массы) на 44-ый день эксперимента (указано стрелкой на рис. 1а). * – Значимая разница при $p < 0.05$ в тесте Манна–Уитни.

и содержит некоторые жирорастворимые витамины (Pourtorabi et al., 2017). Однако чрезмерное накопление жира в брюшной части является нежелательным свойством при оценке качественных показателей тушек и сопровождается некоторыми патологическими процессами, например, синдром жирной печени (Zaefarian et al., 2019). У перепелов, получавших с кормом пробиотик, масса брюшного жира хотя и превысила на $76.5 \pm 47.5\%$ этот показатель у птиц контрольной группы, но разница была незначимой ($p > 0.1$), а масса жира составила всего 2% от массы потрошеной туши. При этом содержание общих липидов, холестерина, липопротеидов высокой и низкой плотности в крови у птиц опытной группы было даже ниже, чем в контроле (дополнительные материалы, табл. S1), а при анатомической разделке тушек не было выявлено патологических изменений в печени. В целом, ветеринарно-санитарная экспертиза установила, что внутренние органы перепелов в изучаемый период выращивания находились в хорошем физиологическом состоянии, а сохранность поголовья в обеих группах составила 100%. Отсутствие негативного влияния применения изучаемой пробиотической добавки также подтверждено данными общего и биохимического анализа крови, которые не выявили у птиц опытной группы отклонений от нормы и значимых отличий от контроля (дополнительные материалы, табл. S1).

Эффект пробиотиков на организм часто опосредован воздействием на микробиоту пищеварительного тракта (Stanley et al., 2016). Чтобы определить влияние пробиотической добавки на кишечную микробиоту перепелов, содержимое слепой кишки исследовали с помощью анализа библиотек последовательностей генов 16S рПНК, секвенированных на платформе Illumina MiSeq. Показатели альфа-разнообразия (таксономического богатства микробных сообществ), а именно: индексы таксономического разнообразия Chao1, Шеннона и Симпсона, показатель филогенетического разнообразия Faith's PD и количество ОТЕ (операционных таксономических единиц), не отличались в двух группах (дополнительные материалы, рис. S1). Для оценки бета-разнообразия (различий между сообществами) определили невзвешенные и взвешенные показатели Unifrac (Lozupone et al., 2011) с дальнейшей визуализацией с помощью анализа главных координат (PCoA). Установили, что опытная и контрольная группы были достаточно гетерогенными и существенно отличались друг от друга по составу кишечного микробного сообщества.

Основу кишечной микробиоты перепелов в обеих группах составляли филы *Firmicutes* и *Bacteroidota* (рис. 2а), что полностью согласуется с данными литературы (Wilkinson et al., 2016).

Отношение *Firmicutes* к *Bacteroidota* (F/B) широко используется в качестве характеристики

состояния кишечной микробиоты, при этом существенное преобладание одной филы над другой, как правило, соответствует дисбактериозу и другим патологиям (Stojanov et al., 2020). Введение *L. plantarum* AG10 в кормовой рацион перепелов благоприятно влияло на кишечное бактериальное сообщество, приводя к балансу между *Firmicutes* к *Bacteroidota* (F/B = 0.8).

Известно, что микробиоту слепой кишки у перепелов в основном составляют семейства *Bacteroidaceae*, *Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae* и *Enterobacteriaceae*. На уровне родов в порядке убывания численности там представлены *Bacteroides*, *Ruminococcus*, *Faecalibacterium*, *Enterococcus* и *Clostridium* (Wilkinson et al., 2016). Действительно, указанные семейства присутствовали в исследуемых кишечных микробных сообществах, но их численность сильно варьировала (рис. 2б). У перепелов контрольной группы *Bacteroidaceae*, *Lachnospiraceae* и *Ruminococcaceae* суммарно составляли 33%, а у перепелов, получавших пробиотическую добавку, доля этих трех семейств была 60%. Семейство *Ruminococcaceae*, которое включает несколько бутират-продуцирующих родов, было богато представлено в кишечной микробиоте в обеих группах перепелов, а содержание наиболее изученного противовоспалительного и бутират-продуцирующего рода *Faecalibacterium* в них было приблизительно равным (8% в контрольной и 7% в опытной группах, $p > 0.1$). Относительно многочисленными в контроле семейства *Lactobacillaceae*, *Enterococcaceae* и *Staphylococcaceae* существенно снизились в опытных пробах (рис. 2в), а содержание семейств *Bacteroidaceae*, *Lachnospiraceae* и *Helicobacteraceae*, наоборот, возросло при использовании кормовой добавки. Воспалительные заболевания кишечника часто сопровождаются увеличением численности *Enterococcaceae* и *Staphylococcaceae* в кишечнике (Tolnai et al., 2021), поэтому снижение численности этих бактерий мы рассматриваем как благоприятный эффект пробиотика. Прием *Lactobacillus*-содержащих пробиотиков не всегда приводит к увеличению содержания лактобацилл в анализируемых пробах кишечной микробиоты (Beck et al., 2019). Можно предположить, что вводимые непродолжительное время (7 недель) лактобациллы колонизируют непосредственно толстую кишку и не влияют на микробиоту слепой кишки. Проведенный метагеномный анализ впервые позволил обнаружить в слепой кишке перепелов обеих групп достаточно высокое содержание семейств *Nanoperiomorpaceae*, *Acutalibacteraceae* и *Atopobiaceae*, которые ранее, по видимому, были отнесены к неклассифицированным таксонам (суммарная доля трех семейств 12% в контрольной и 8% в опытной группе). Наиболее многочисленными родами этих семейств были *Nanoperiomorbus* (8% в контрольной и 1% в опытной

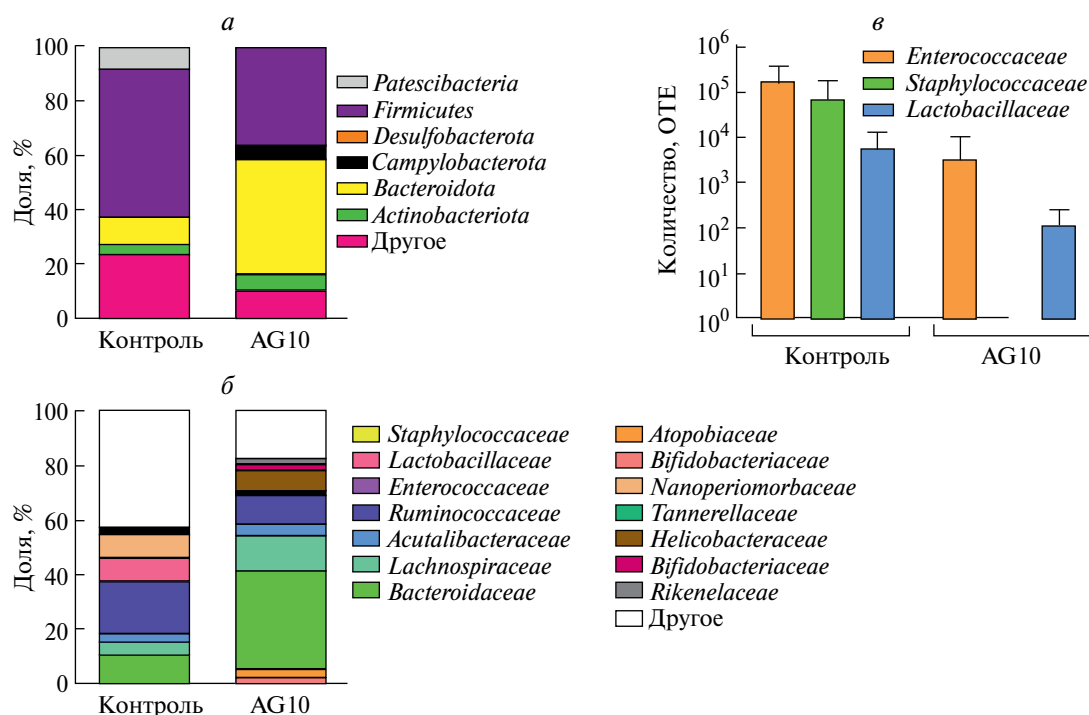


Рис. 2. Эффект внесения *L. plantarum* AG10 в качестве пробиотической добавки в корм перепелов на относительное содержание таксонов: а — на уровне типов; б — на уровне семейств; в — присутствие бактерий семейств *Staphylococcaceae*, *Enterococcaceae* и *Lactobacillaceae* в слепой кишке перепелов.

группе), *Hydrogeniiclostridium* (1% в контрольной и 1% в опытной группе) и *Thermophilibacter* (1% в контрольной и 4% в опытной группе) соответственно, которые также идентифицированы в ЖКТ перепелов впервые (дополнительные материалы, табл. S2, рис. S2).

В проведенном исследовании проанализировали изменение состава микробиоты слепой кишки перепелов в ответ на использование в рационе кормления пробиотической добавки на основе *L. plantarum* AG10. Отмечены определенные положительные изменения в микробиоте кишечника, которые могут вести к улучшению физиологических и морфологических параметров перепелов. Экономическим эффектом от использования пробиотика стало повышение продуктивности перепелов при снижении затрат кормов на 1 кг прироста.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена с использованием оборудования Междисциплинарного центра коллективного пользования КФУ для обеспечения клеточных, геномных и постгеномных исследований в Приволжском регионе. Авторы выражают благодарность Казаковой Р.Р. за проведение анализа крови.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект РНФ-22-16-00040).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Данное исследование одобрено локальным этическим комитетом КФУ (протокол № 40 от 09 марта 2023 г.).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алиев М.Ш., Захаров В.П., Прокофьева Р.Г. Факторы повышения качества продукции и эффективности птицеводства в Республике Татарстан // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2008. Т. 193. С. 12–15.

- Полонский В.И., Сумина А.В. Влияние физических характеристик зернового сырья на функциональную ценность кормов для птиц // Вестн. Российского университета дружбы народов. Сер. Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 2. С. 167–175.
- Путивская Т.Б., Норовяткин В.И. Проект повышения эффективности разведения перепелов // Региональные агросистемы: экономика и социология. 2022. № 3. С. 56–62.
- Beck B.R., Park G.S., Jeong D.Y., Lee Y.H., Im S., Song W.H., Kang J. Multidisciplinary and comparative investigations of potential psychobiotic effects of *Lactobacillus* strains isolated from newborns and their impact on gut microbiota and ileal transcriptome in a healthy murine model // Front. Cell. Infect. Microbiol. 2019. V. 9. Art. 269.
- Campana R., van Hemert S., Baffone W. Strain-specific probiotic properties of lactic acid bacteria and their interference with human intestinal pathogens invasion // Gut Pathogens. 2017. V. 9. Art. 12.
- Gavrilova E., Anisimova E., Gabdelkhadieva A., Nikitina E., Vafina A., Yarullina D., Bogachev M., Kayumov A. Newly isolated lactic acid bacteria from silage targeting biofilms of foodborne pathogens during milk fermentation // BMC Microbiol. 2019. V. 19. P. 1–12.
- Hill C., Guarner F., Reid G., Gibson G.R., Merenstein D.J., Pot B., Sanders M.E. 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. V. 11. P. 506–514.
- Jha R., Das R., Oak S., Mishra P. Probiotics (direct-fed microbials) in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, growth and laying performance, and gut health: a systematic review // Animals. 2020. V. 10. Art. 1863.
- Lozupone C., Lladser M.E., Knights D., Stombaugh J., Knight R. UniFrac: an effective distance metric for microbial community comparison // ISME J. 2011. V. 5. P. 169–172.
- Park Y.H., Hamidon F., Rajangan C., Soh K.P., Gan C.Y., Lim T.S., Abdullah W.N.W., Liong M.T. Application of probiotics for the production of safe and high-quality poultry meat // Korean J. Food Sci. Animal Resour. 2016. V. 36. P. 567–576.
- Pourtorabi E., Farzin F., Seraj A. Effects of genetic and non-genetic factors on body weight and carcass related traits in two strains of Japanese quails // Poultry Sci. J. 2017. V. 5. P. 17–24.
- Stanley D., Hughes R.J., Geier M.S., Moore R.J. Bacteria within the gastrointestinal tract microbiota correlated with improved growth and feed conversion: challenges presented for the identification of performance enhancing probiotic bacteria // Front. Microbiol. 2016. V. 7. Art. 187.
- Stojanov S., Berlec A., Štrukelj B. The influence of probiotics on the *Firmicutes/Bacteroidetes* ratio in the treatment of obesity and inflammatory bowel disease // Microorganisms. 2020. V. 8. Art. 1715.
- Tolnai E., Fauszt P., Fidler G., Pesti-Asboth G., Szilagyi E., Stigel A., Pahlcssek M. Nutraceuticals induced changes in the broiler gastrointestinal tract microbiota // MSystems. 2021. V. 6. Art. e01124-20.
- Wilkinson N., Hughes R.J., Aspden W.J., Chapman J., Moore R.J., Stanley D. The gastrointestinal tract microbiota of the Japanese quail, *Coturnix japonica* // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2016. V. 100. P. 4201–4209.
- Zaefarian F., Abdollahi M.R., Cowieson A., Ravindran V. Avian liver: the forgotten organ // Animals (Basel). 2019. V. 9. Art. 63.

SHORT COMMUNICATION

Effect of Probiotic Lactobacteria on the Intestinal Microbiota and Morphological and Physiological Indicators of Quail

E. A. Gavrilova^{1, *}, O. S. Karaseva¹, Y. M. Monir¹, A. M. Ezhkova²,
V. O. Ezhkov², R. A. Volkov², A. M. Senina¹, D. R. Khusnutdinova¹,
E. V. Nikitina^{1, 3}, D. R. Yarullina¹, and A. R. Kayumov¹

¹Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, 420008, Russia

²Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman, 420061, Kazan, Russia

³Kazan National Research Technological University, Kazan, 420015, Russia

*e-mail: Alalila@yandex.ru

Received October 25, 2023; revised December 23, 2023; accepted December 25, 2023

Abstract. The work shows the effect of adding *Lactiplantibacillus plantarum* AG10 biomass to quail feed. Quails that received a probiotic feed additive for seven weeks showed a significant improvement in such economic indicators as the dynamics of live weight, gutted carcass weight and feed consumption per

1 kg of gain. Using the analysis of libraries of 16S rRNA gene sequences sequenced on the Illumina MiSeq platform, shifts in the microbiota of the cecum were discovered, which can help improve the morphological and physiological parameters of quails.

Keywords: quail, probiotic, feed additive, lactobacilli

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 579.64

ЭФФЕКТ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ЛАКТОБАКТЕРИЙ
НА МИКРОБИОТУ КИШЕЧНИКА
И МОРФОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕПЕЛОВ

© 2024 г. Е. А. Гаврилова^{а, *}, О. С. Карасева^а, Я. М. Монир^а,
А. М. Ежкова^б, В. О. Ежков^б, Р. А. Волков^б, А. М. Сенина^а,
Д. Р. Хуснутдинова^а, Е. В. Никитина^{а, с}, Д. Р. Яруллина^а, А. Р. Каюмов^а

^аКазанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008, Россия

^бКазанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана, 420061, Казань, Россия

^сКазанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, 420015, Россия

*e-mail: Alalila@yandex.ru

Таблица S1. Анализ форменных элементов и биохимических показателей крови перепелов, получавших *L. plantarum* AG10 в качестве пробиотической добавки. *Значимые различия при $p < 0.05$ в тесте Манна–Уитни

Показатель	Контроль	<i>L. plantarum</i> AG10
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	50.0 ± 7.0	54.2 ± 4.2
Лимфоциты, 10 ⁹ /л	38.3 ± 6.5	39.8 ± 1.9
Сумма: нейтрофилы, моноциты, эозинофилы, базофилы, 10 ⁹ /л	2.3 ± 2.2	2.6 ± 2.2
Гранулоциты, 10 ⁹ /л	9.4 ± 2.4	11.8 ± 2.8
Лимфоциты, %	76.5 ± 5.8	73.6 ± 4.3
Сумма: нейтрофилы, моноциты, эозинофилы, базофилы, %	4.7 ± 4.5	4.7 ± 3.9
Гранулоциты, %	18.7 ± 4.2	21.7 ± 4.2
Эритроциты, 10 ¹² /л	2.8 ± 0.1	2.8 ± 0.4
Гемоглобин, г/л	223.0 ± 14.4	225.8 ± 16.5
Гематокрит, %	37.2 ± 2.9	36.5 ± 4.2
Средний объем эритроцитов, 10 ¹⁵ /л	131.9 ± 10.3	131.0 ± 4.9
Средняя концентрация гемоглобина в крови, 10 ¹² /л	79.4 ± 8.0	81.7 ± 9.9
Средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах, г/л	601.9 ± 46.3	622.4 ± 61.9
Широта распределения популяции эритроцитах, %	10.5 ± 1.1	10.0 ± 2.2
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	20.4 ± 11.6	13.6 ± 4.2
Средний объем тромбоцитов, 10 ¹⁵ /л	8.8 ± 2.0	10.1 ± 2.0
Широта распределения популяции тромбоцитов, %	28.8 ± 4.6	25.0 ± 4.2
Альбумин, г/дл	3.1 ± 0.9	3.6 ± 0.8
Общий белок, г/дл	2.5 ± 0.7	2.4 ± 0.6
Билирубин, мг/дл	0.1	0.1
Креатинин, мг/дл	0.2	0.1
Общие липиды, мг/дл	499.3 ± 154.2	465.6 ± 129.6

Окончание таблицы S1

Показатель	Контроль	<i>L. plantarum</i> AG10
Холестерин, мг/дл	172.6 ± 46.4	160.7 ± 33.4
Триглицериды, мг/дл	335.0 ± 296.2	333.6 ± 402.3
Липопротеиды высокой плотности, мг/дл	187.7 ± 39.5	180.3 ± 63.4
Липопротеиды низкой плотности, мг/дл	287.2 ± 59.7	264.7 ± 64.2
*Аспаратаминотрансфераза (АСТ), Ед/л	6.6 ± 3.4	14.3 ± 6.4
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), Ед/л	22.6 ± 4.9	23.6 ± 6.2
Кальций, мг/дл	9.7 ± 2.2	10.4 ± 0.9

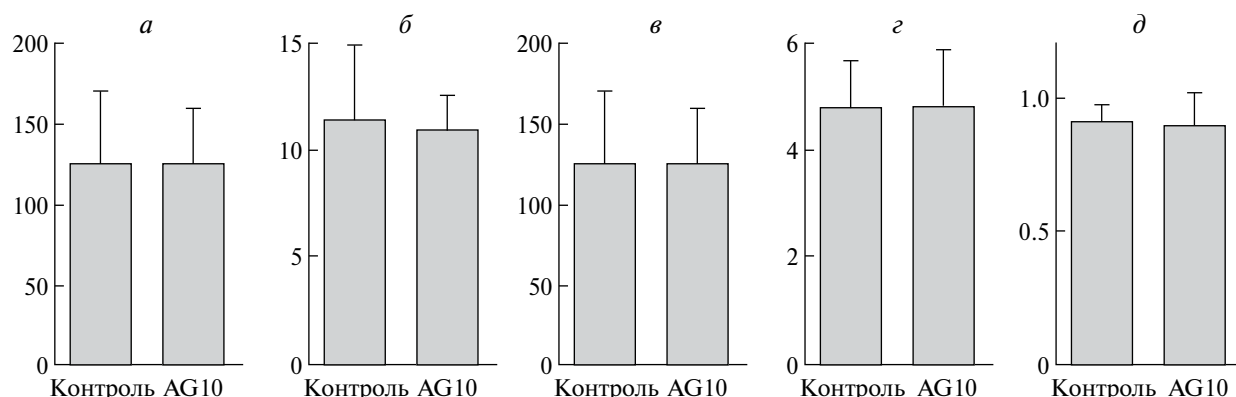


Рис. S1. Эффект внесения *L. plantarum* AG10 в качестве пробиотической добавки в корм перепелов на индексы биоразнообразия микробного сообщества слепой кишки: индексы таксономического разнообразия ((а) – Chao1; (г) – индекс Шеннона; (д) – индекс Симпсона), показатель филогенетического разнообразия Faith's PD (б) и количество ОТЕ (в).

Таблица S2. Таксономический профиль бактериального сообщества слепой кишки перепелов, получавших с кормом пробиотическую добавку на основе *L. plantarum* AG10, исследованный методом секвенирования гена 16S рибосомной РНК

Таксон	Количество
d__Bacteria;__ ;__ ;__ ;__ ;__ ;__	0.001887
d__Bacteria;p__Actinobacteriota;c__Actinomycetia;o__Actinomycetales;f__Bifidobacteriaceae;g__Bifidobacterium_388775;s__Bifidobacterium pullorum_B_388330	0.023067
d__Bacteria;p__Actinobacteriota;c__Coriobacteriia;o__Coriobacteriales;f__Atopobiaceae;g__Thermophilibacter;s__Thermophilibacter avicola	0.03858
d__Bacteria;p__Actinobacteriota;c__Coriobacteriia;o__Coriobacteriales;f__Coriobacteriaceae;g__Collinsella;__	0.005675
d__Bacteria;p__Actinobacteriota;c__Coriobacteriia;o__Coriobacteriales;f__Coriobacteriaceae;g__Collinsella;s__Collinsella ihuae	0.001106
d__Bacteria;p__Actinobacteriota;c__Coriobacteriia;o__Coriobacteriales;f__Coriobacteriaceae;g__Limicola;s__Limicola sp002160065	0.000607
d__Bacteria;p__Actinobacteriota;c__Coriobacteriia;o__Coriobacteriales;f__Eggerthellaceae;__ ;__	0.000713
d__Bacteria;p__Actinobacteriota;c__Coriobacteriia;o__Coriobacteriales;f__Eggerthellaceae;g__CAG-1427;s__CAG-1427 sp000435475	0.000564
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;__ ;__ ;__ ;__ ;__	8.06E-05
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;__ ;__ ;__	0.000579
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Bacteroidaceae;__ ;__	0.018242
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Bacteroidaceae;g__Bacteroides_H;__	0.000107

Продолжение таблицы S2

Таксон	Количество
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Bacteroidaceae;g__Bacteroides_H;s__Bacteroides_H massiliensis	0.109079
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Bacteroidaceae;g__Phocaeicola_A_858004;s__	0.015066
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Bacteroidaceae;g__Phocaeicola_A_858004;s__Phocaeicola_A_858004 gallinaceus	0.023985
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Bacteroidaceae;g__Phocaeicola_A_858004;s__Phocaeicola_A_858004 salanitronis	0.001826
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Bacteroidaceae;g__Prevotella;s__Prevotella copri	0.000386
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Bacteroidaceae;g__Prevotella;s__Prevotella lascolaii	0.015189
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Bacteroidaceae;g__Prevotella;s__Prevotella sp003447235	0.000254
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Muribaculaceae;g__Limisoma;s__Limisoma sp900548875	0.004776
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Rikenellaceae;g__Alistipes_A_871400;s__	0.010875
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Rikenellaceae;g__Alistipes_A_871404;s__	0.001255
d__Bacteria;p__Bacteroidota;c__Bacteroidia;o__Bacteroidales;f__Tannerellaceae;g__Parabacteroides_B_862066;s__Parabacteroides_B_862066 sp002159645	0.00217
d__Bacteria;p__Campylobacterota;c__Campylobacteria;o__Campylobacterales;f__Helicobacteraceae;__;	0.050162
d__Bacteria;p__Desulfobacterota_I;c__Desulfovibrionia;o__Desulfovibrionales;f__Desulfovibrionaceae;g__Desulfovibrio_R_446353;__	0.001178
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Christensenellales;f__Borkfalkiaceae;g__Borkfalkia;s__	0.000428
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Lachnospirales;f__Lachnospiraceae;__;	0.051638
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Lachnospirales;f__Lachnospiraceae;g__Anaerobutyricum;s__Anaerobutyricum faecale	0.000698
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Lachnospirales;f__Lachnospiraceae;g__Blautia_A_141781;__	0.004368
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Lachnospirales;f__Lachnospiraceae;g__Lachnoclostridium_B;s__Lachnoclostridium_B sp000765215	0.004055
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Lachnospirales;f__Lachnospiraceae;g__Mediterraneibacter_A_155507;__	0.029052
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Lachnospirales;f__Lachnospiraceae;g__Mediterraneibacter_A_155507;s__Mediterraneibacter_A_155507 cottocaccae	0.018415
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Lachnospirales;f__Lachnospiraceae;g__Sellimonas;s__Sellimonas intestinalis	0.002748
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Acutalibacteraceae;__;	0.001186
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Acutalibacteraceae;g__;	0.000386
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Acutalibacteraceae;g__Acutalibacter;s__	0.001887
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Acutalibacteraceae;g__Eubacterium_R;s__Eubacterium_R faecavium	0.008513
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Acutalibacteraceae;g__Hydrogeniclostridium;s__	0.011681

Окончание таблицы S2

Таксон	Количество
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Butyricicoccaceae;g__Agathobaculum;s__Agathobaculum sp900291975	0.000725
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Oscillospiraceae_88309;g__;	0.001182
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Oscillospiraceae_88309;g__Dysosmobacter;g__	0.000419
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Oscillospiraceae_88309;g__Dysosmobacter;s__Dysosmobacter welbionis	0.002286
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Oscillospiraceae_88309;g__Lawsonibacter;s__	0.004585
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Oscillospiraceae_88309;g__Lawsonibacter;s__Lawsonibacter sp000177015	0.003099
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Ruminococcaceae;g__;	0.003545
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Ruminococcaceae;g__Faecalibacterium;s__Faecalibacterium sp002160895	0.072577
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Ruminococcaceae;g__Gemmiger_A_73129;g__	0.009068
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Ruminococcaceae;g__Gemmiger_A_73129;s__Subdoligranulum variabile	0.002558
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Ruminococcaceae;g__Gemmiger_A_73276;s__Gemmiger_A_73276 avium	0.000886
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Ruminococcaceae;g__Negativibacillus;s__Negativibacillus massiliensis	0.000813
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Ruminococcaceae;g__Paludicola;s__Paludicola psychrotolerans	0.001132
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__Oscillospirales;f__Ruminococcaceae;g__Phoceae;s__	0.001465
d__Bacteria;p__Firmicutes_A;c__Clostridia_258483;o__TANB77;f__CAG-508;g__CAG-269;s__CAG-269 sp000431335	0.000434
d__Bacteria;p__Firmicutes_C;c__Negativicutes;o__Selenomonadales;f__Selenomonadaceae_42771;g__Megamonas;s__Megamonas hypermegale	0.003813
d__Bacteria;p__Firmicutes_C;c__Negativicutes;o__Veillonellales;f__Dialisteraceae;g__UBA1822;s__UBA1822 sp900545365	0.002162
d__Bacteria;p__Firmicutes_D;c__Bacilli;o__Erysipelotrichales;f__Coprobaillaceae;g__;	0,000305
d__Bacteria;p__Firmicutes_D;c__Bacilli;o__Erysipelotrichales;f__Coprobaillaceae;g__Erysipelatoclostridium;s__Erysipelatoclostridium spiroforme	0.001474
d__Bacteria;p__Firmicutes_D;c__Bacilli;o__Erysipelotrichales;f__Erysipelotrichaceae;g__Faecalicoccus;s__Faecalicoccus pleomorphus	0.00051
d__Bacteria;p__Firmicutes_D;c__Bacilli;o__Lactobacillales;f__Lactobacillaceae;g__Ligilactobacillus;s__Ligilactobacillus salivarius	0.00082
d__Bacteria;p__Firmicutes_D;c__Bacilli;o__RFN20;f__CAG-826;g__Onthovivens;s__Onthovivens sp002399785	0.005211
d__Bacteria;p__Patescibacteria;c__Saccharimonadia;o__Saccharimonadales;f__Nanoperiomorbaceae;g__Nanoperiomorbus;s__	0.008928
d__Bacteria;p__Proteobacteria;c__Gammaproteobacteria;o__Burkholderiales_595427;f__Burkholderiaceae_A_595427;g__Aphodousia;s__Aphodousia faecalis	0.003061
d__Bacteria;p__Proteobacteria;c__Gammaproteobacteria;o__Burkholderiales_595427;f__Burkholderiaceae_A_595427;g__Sutterella;s__Sutterella parvirubra	0.0014

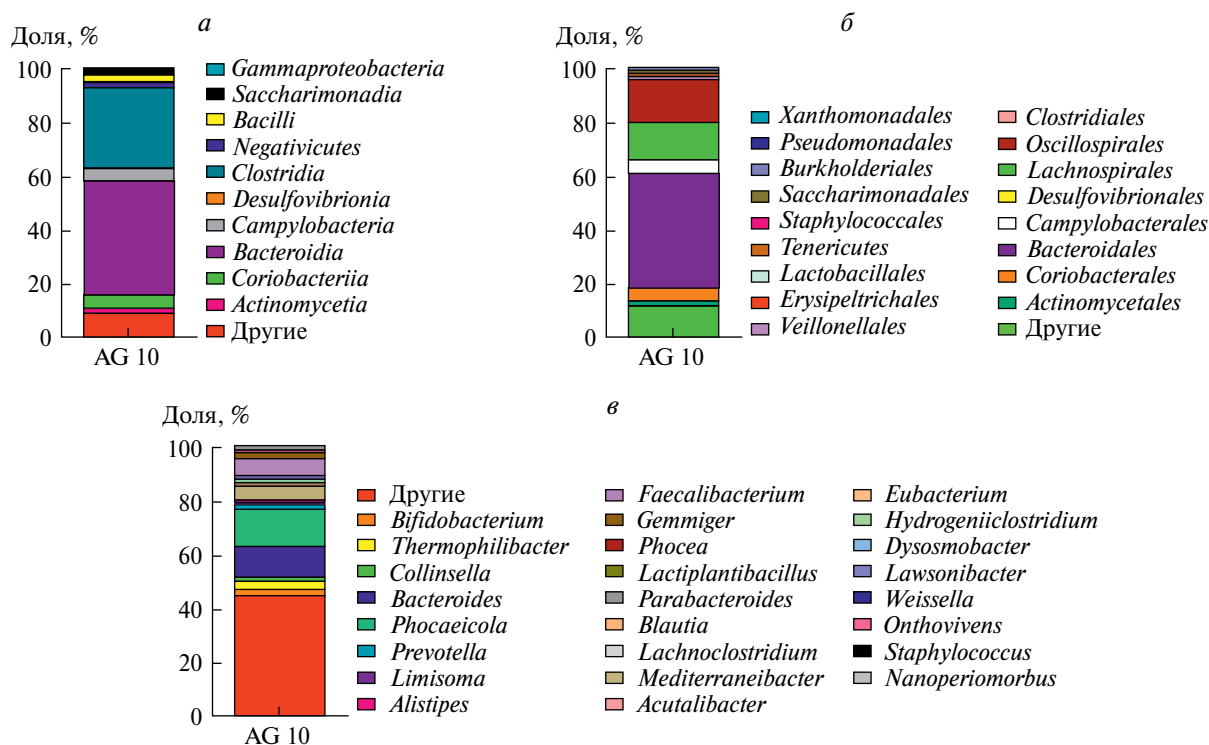


Рис. S2. Эффект внесения *L. plantarum* AG10 в качестве пробиотической добавки в корм перепелов на относительное содержание таксонов ((а) — на уровне классов; (б) — на уровне отрядов; (в) — на уровне родов).