

Зоотехния и ветеринария

УДК 636.5.034

DOI 10.31857/S2500262725010091 EDN CSPMML

ВЛИЯНИЕ ФИТОБИОТИЧЕСКИХ И ПРОБИОТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, А ТАКЖЕ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН И ЭНТЕРОСОРБЕНТА НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И СОСТАВ КИШЕЧНОГО МИКРОБИОМА КУР-НЕСУШЕК

© 2025 г. Д. А. Силин, С. В. Лебедев, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, И. А. Вершинина, кандидат биологических наук, Т. В. Казакова, О. В. Маршинская

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук,
460000, Оренбургская обл., Оренбург, 9 Января, 29
E-mail: dasilin@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки влияния фитобактериальных и пробиотических веществ, а также пищевых волокон и энтеросорбентов на продуктивные характеристики, биохимические параметры крови, минеральный баланс и микробиоту кишечника кур-несушек для разработки мероприятий по оптимизации минерального питания при включении в рацион биоактивных веществ. Работу выполняли на курах кросса Хайсекс Браун в возрасте от 90 до 210 дней, который соответствует фазе активного формирования репродуктивной системы и накопления ключевых микроэлементов в организме. Включение различных биологически активных веществ оказывало специфическое влияние на выведение из организма определенных минералов и баланс бактериальных сообществ, что в конечном итоге повлияло на общую продуктивность птицы и эффективность использования кормов. При использовании фитогенетика Дигестарома отмечено увеличение показателей яйценоскости на 7,78 % ($p \leq 0,05$), что связано с активацией метаболизма углеводов и белков, а также с изменениями в составе кишечной микрофлоры. В слепой кишке птиц группы, получавшей энтеросорбент Цамакс, отмечено снижение численности бактерий родов *Bifidobacterium*, *Faecalibacterium* и *Lactobacillus*, тогда как число целлюлозолитиков увеличилось, коррелируя с уровнем К, Cr и Mn. Применение пробиотика Ветом привело к снижению численности тех же семейств, что было связано с усвоением Cr, Se и Co. Пищевые волокна препарата Арбоцел стимулировали рост бактерий *Pseudomonadota* и уменьшали численность *Bacillota*; количество микроорганизмов семейства *Oscillospiraceae* коррелировало с уровнями I, Fe и P. Применение Дигестарома сопровождалось снижением численности *Lactobacillaceae* (на 13,7 %) и увеличением – *Oscillospiraceae* (на 19,7 %), *Clostridiaceae* (на 61,2 %), *Lachnospiraceae* (на 39,2 %), количество которых было связано с содержанием Mg и K.

EFFECT OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS ON FUNCTIONAL PARAMETERS AND INTESTINAL MICROBIOME STRUCTURE OF LAYING HENS

D. A. Silin, S. V. Lebedev, I. A. Verшинina, T. V. Kazakova, O. V. Marshinskaya

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences,
460000, Orenburgskaya obl., Orenburg, 9 Yanvary, 29
E-mail: dasilin@mail.ru

Studies were conducted to evaluate the effect of phytobiotic and probiotic substances, as well as dietary fibers and enterosorbents on productive characteristics, blood biochemical parameters, mineral balance and intestinal microbiota of laying hens in order to develop measures to optimize mineral nutrition with the inclusion of bioactive substances in the diet. The work was carried out on hens of cross Hisex Brown at the age from 90 to 210 days, which corresponds to the phase of active formation of reproductive system and accumulation of key trace elements in the body. The inclusion of various biologically active substances had a specific effect on the excretion of certain minerals from the body and the balance of bacterial communities, which ultimately affected the overall productivity of poultry and the efficiency of feed utilization. The use of phytogenic Digestarom showed an increase in egg production by 7.78 % ($p \leq 0.05$), which is associated with the activation of carbohydrate and protein metabolism, as well as changes in the composition of intestinal microflora. In the blind intestine of birds of the group receiving the enterosorbent Tsamax, there was a decrease in the number of bacteria of the genus *Bifidobacterium*, *Faecalibacterium* and *Lactobacillus*, while the number of cellulolytics increased, correlating with the level of K, Cr and Mn. Application of the probiotic Vetom resulted in a decrease in the same families, which was correlated with the assimilation of Cr, Se and Co. The dietary fiber supplement Arbocel stimulated the growth of *Pseudomonadota* bacteria and decreased the amount of *Bacillota*; the number of microorganisms of the *Oscillospiraceae* family correlated with the levels of I, Fe and P. Digestarom use induced a decrease in *Lactobacillaceae* (by 13.7 %) and an increase in *Oscillospiraceae* (by 19.7 %), *Clostridiaceae* (by 61.2 %), *Lachnospiraceae* (by 39.2 %), related to Mg and K levels.

Ключевые слова: куры-несушки, кормление, энтеросорбент, пробиотик, целлюлоза, фитогенетик, яичная продуктивность, конверсия корма, интегральный коэффициент элементов, коэффициент обменного потенциала, пул элементов, микробиом, корреляция.

Keywords: laying hens, feeding, enterosorbent, probiotic, cellulose, phytogenetic, egg production, feed conversion, integral coefficient of elements, coefficient of metabolic potential, element pool, microbiome, correlation.

Совершенствование отрасли птицеводства направлено на разработку и реализацию стратегии повышения продуктивности яичных кур, сохранности, снижения себестоимости и безопасности производимых продуктов, что достигается путем обеспечения организма комплексом активных веществ, повышающих имму-

нитет и продуктивные показатели. Увеличение риска развития устойчивости патогенных микроорганизмов к антибиотикам привело к постепенному отказу от их использования в лечебных и профилактических целях при разведении сельскохозяйственных животных [1]. Это вызвало рост числа исследований, ориентированных

на разработку эффективных методов контроля заболеваний и создание пищевых ингредиентов, направленных на улучшение здоровья и продуктивности животных. В птицеводстве используют широкий спектр препаратов, основанных на фитокомпонентах (эфирные масла, органические кислоты и др.), пробиотики и пребиотики [2, 3], альдегиды [4], бактериофаги [5], микроэлементы [6], экзогенные ферменты [7] и энтеросорбенты [8].

Энтеросорбенты обладают способностью к связыванию токсических веществ, переносу физиологически активных веществ, таких как ферменты и др., избирательному поглощению аминокислот, структуризации кишечного микробиома, хелатированию и видоизменению химического состава химуса, что неблагоприятно влияет на патогенную микрофлору [8, 9]. Фитогенные кормовые добавки благотворно влияют на здоровье и функционирование кишечника благодаря наличию таких биоактивных соединений, как полифенолы, с противомикробными, антиоксидантными, иммуномодуляционными и противовоспалительными свойствами [10, 11, 12]. Пробиотики улучшают здоровье кишечника, повышают стабильность кишечной флоры и подавляют колонизацию патогенов [13, 14], стимулируют яйценоскость [15], оказывают положительное влияние на качество скорлупы [16] путем воздействия на колонизацию симбиотических бактерий [17], количество бокаловидных клеток кишечника [18] и стимулирования кишечного Т-клеточного иммунитета [19, 20]. С физиологической точки зрения пищевые волокна содержат полисахариды и лигнин, которые не перевариваются эндогенными ферментами в пищеварительном тракте, поэтому, достигая задней части кишечника, они оказывают положительное воздействие на конверсию корма, снижают его общее потребление, улучшают кишечное пищеварение и общее влияние на рост и развитие организма [21, 22].

Перечисленные биологически активные соединения относятся к различным группам фармакологических средств с разным действием, но все они имеют непосредственное влияние на кишечник, а в частности, на микробиальный профиль.

Цель исследований – определить влияние включения в рацион различных биологических активных добавок на зоотехнические показатели, показатели крови, элементный статус и метагеном кишечника, а также установить взаимосвязь элементного статуса и микробиального содержимого кишечника кур-несушек в период активного формирования репродуктивной системы и накопления ключевых микроэлементов в организме для разработки мероприятий по оптимизации минерального питания при включении в рацион биоактивных веществ.

Методика. Объект исследования – куры-несушки (n=30) кросса Хайсекс Браун возраста 90...210 суток (ЗАО «Птицефабрика Оренбургская»). Работу проводили на базе лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук». Эксперимент длительностью 120 дней был разделен на 2 этапа – подготовительный (90...110 суток) и учетный (110...210 суток). Птицу содержали в типовых клетках БН-1 для кур-несушек производства «Стимул-Инк» (Россия, Московская обл., г. Пушкино). Кормление и поение осуществляли групповым методом согласно рекомендациям ВНИТИП (2013). Микроклимат в помещениях соответствовал требованиям ОНТП-4-88.

По окончании подготовительного периода было сформировано 5 групп. Птица контрольной группы

получала основной рацион (ПК-1). В корм I группы добавляли 50 г/кг корма энтеросорбент Цамакс (производство ООО «Цамакс»), II группы – 1,5 г/кг корма пробиотик Ветом (производство ООО «Ветом»), III группы – 1 г/кг корма целлюлозы Арбоцел (производство J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH + CO. KG), IV группы – 1 г/кг корма фитогеник Дигестаром (производство Biomin).

В состав препарата Цамакс входят цеолит и серо-содержащие компоненты, которые способствуют нормализации минерального обмена, а также улучшению работы желудочно-кишечного тракта. Ветом включает в свой состав бактерии *Bacillus subtilis*, которые, размножаясь преимущественно в толстом отделе кишечника, выделяют протеолитические, амилолитические, целлюлозолитические ферменты; стимулируют иммунную систему и снижают число патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. Арбоцел – это концентрат лигноцеллюлозы, волокна которого в незначительной степени перевариваются в толстом кишечнике и существенно влияют на микробиоценоз, а также процессы переваривания, усвоения и эвакуации корма. Фитогеник Дигестаром увеличивает устойчивость животного к воздействию иммунных стрессовых факторов и стимулирует рост полезной микробиоты кишечника, благодаря чему высвобождается больше энергии на рост и включает в свой состав анетол, карвакрол и лимонен.

Учет поедаемости кормов и яичной продуктивности осуществляли ежедневно. Биосубстраты изучали в Испытательном центре (<http://цкп-бст.рф>), ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»: кровь для анализа отбирали у каждой птицы (150 проб) из подкрыльцовой вены утром перед кормлением в возрасте 210 суток. Морфологические показатели крови определяли на гематологическом анализаторе URIT-2900 Vet Plus (URIT Medial Electronic Co., Китай), биохимический анализ крови проводили на анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием наборов ДиаВетТест (Россия) и Randox Laboratories Limited (Великобритания). Концентрации содержания химических элементов в крови и помете определяли методами атомно-эмиссионной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Optima 2000 V, Perkin Elmer, США), а также масс-спектрометрии (Elan 9000, Perkin Elmer, США).

На 150-е и 210-е сутки отбирали образцы полостного содержимого слепого кишечника кур-несушек в 50 стерильных микропробирок типа «эппендорф» (Nuova Aptaca S. R.L., Италия). Для исследования использовали оборудование Центра коллективного пользования научным оборудованием «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН. Анализ осуществляли путем выделения ДНК из образцов кишечного содержимого кур-несушек с использованием коммерческого набора innuPREP Stool DNA Kit (Analytic Jena, Germany); затем проводили электрофорез выделенной ДНК в агарозном геле с оценкой концентраций двухцепочечной ДНК на приборе Qubit 4.0. После оценки концентрации следовал этап приготовления ДНК-библиотек на основе ампликонов с индексами Nextera для секвенирования на приборах Illumina и измерением концентрации на Qubit 4.0; а в конце секвенирование ампликоновых ДНК-библиотек на приборе MiSeq Illumina (чтение 500 циклов по 250 с двух сторон).

Данные, полученные в эксперименте, подвергали статистической обработке с использованием про-

граммного обеспечения Microsoft Excel, Statistica 10,0 (StatSoftInc., США) методами дисперсионного и корреляционного анализа. Проверку соответствия полученных данных нормальному закону распределения проводили с использованием критерия согласия Колмогорова. Гипотеза о нормальном распределении

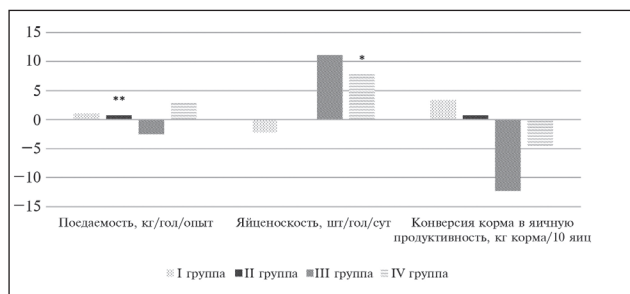


Рис. 1. Разница в зоотехнических показателях кур-несушек опытных групп по сравнению с контрольной (ось X – показатели контрольной группы, %).

*Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$, ** – при $p \leq 0,01$.

данных подтверждена во всех случаях с вероятностью 95 %, что дало основание для применения параметрических процедур обработки статистических совокупностей. Достоверность различий между сравниваемыми показателями определяли с использованием t-критерия Стьюдента. Достоверными считали различия при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$. Коэффициенты корреляции рассчитывали по Спирмену, в исследовании отмечали корреляционные связи силой более 0,5.

По результатам корреляционного анализа были выбраны и указаны только те зависимости между накоплением химических элементов и численностью бактериальных таксонов на 210-е сутки, которые характеризовались прямой значимой корреляцией (коэффициент корреляции более 0,5).

Результаты и обсуждение. Включение биоактивных веществ в рацион птиц III и IV опытных групп сопро-

вождалось увеличением яйценоскости соответственно на 10 % ($p \leq 0,05$) и 7,78 %. Конверсия корма в расчете на 10 яиц в III опытной группе была выше, чем в контрольной, на 12,26 %, в IV – на 4,54 % (рис. 1). Это совпадает с результатами других исследований [23, 24].

Конверсия корма, по данным Kothari D с соавторами [25], повышается благодаря способности фитогенных препаратов стимулировать аппетит, секрецию слюны, желчных кислот, выработку слизи в кишечнике, секрецию и активность пищеварительных ферментов и системные изменения метаболизма макроэлементов и микроэлементов. Аналогичное мнение высказывают и другие исследователи [26, 27].

В нашем эксперименте, изменение метаболизма выражалось в достоверном увеличении общего белка в крови во II опытной группе на 8,4 % ($p \leq 0,05$), в III – на 10,6 % ($p \leq 0,05$), в IV – на 8,9 % ($p \leq 0,05$) (табл. 1).

В крови птиц опытных групп достоверно увеличилось количество пищеварительных ферментов. Так, уровень α -амилазы в I группе был выше, чем в контрольной, в 3,04 раза ($p \leq 0,05$), в III группе – в 2,65 раза ($p \leq 0,05$) и в IV группе – в 3,15 раза ($p \leq 0,05$), липазы – во всех опытных группах в 1,28...1,58 раза ($p \leq 0,05$), что, возможно, связано с повышением кишечной всасываемости и улучшением пищеварения [28, 29, 30].

Уровень креатинина в крови птиц I опытной группы был выше, чем в контроле, на 43,2 % ($p \leq 0,05$). Рост величины этого показателя отмечали и в других исследованиях, что может свидетельствовать об улучшении энергетического обмена в мышечной и нервной тканях организма [31].

В I опытной группе отмечена умеренная лейкопения со снижением количества лейкоцитов сна 6,0 % ($p \leq 0,05$). Введение биологически активных веществ в рацион птицы стимулирует иммунные функции организма [32], что в нашем исследовании выразилось в тенденции к снижению лейкоцитарного индекса интоксикации. Во II опытной группе он был меньше, чем в контроле, на 24,69 %, в III – на 58,64 %, в IV – на 68,52 % (табл. 2).

Табл. 1. Биохимические показатели крови у кур-несушек при включении в рацион биологически активных веществ

Показатель	Контрольная (ОР)	I опытная (ОР + Цамакс)	II опытная (ОР + Ветом)	III опытная (ОР + Арбоцел)	IV опытная (ОР + Дигестаром)
Глюкоза, ммоль/л	8,52±3,07	11,33±0,22	10,15±0,40	10,95±0,16	8,85±1,63
Общий белок, г/л	42,02±14,12	56,47±13,33	45,56±3,16*	46,49±2,90*	45,77±4,27*
Альбумин, г/л	17,33±4,63	24,33±1,20	25,33±0,67	23,33±0,88	23,67±0,67
Билирубин общий, мкмоль/л	0,72±0,21	1,06±0,11	1,10±0,17	1,01±0,07	1,01±0,15
Билирубин прямой, мкмоль/л	1,09±0,16	1,14±0,10	1,17±0,04	1,15±0,00	1,49±0,09
Билирубиновый индекс	1,51	1,07	1,06	1,13	1,47
Холестерин, ммоль/л	2,03±0,95	2,59±0,17	2,42±0,30	2,28±0,26	3,12±0,27
Триглицериды, ммоль/л	10,23±5,20	11,59±0,74	9,93±1,94	10,13±0,73	15,86±2,05
Мочевина, ммоль/л	0,30±0,15	0,20±0,12	0,37±0,22	0,60±0,31	0,20±0,12
Креатинин, мкмоль/л	16,53±3,77	23,67±1,13*	24,40±1,00	23,70±1,96	21,03±0,97
α -амилаза, Ед/л	82,67±61,80	251,67±30,44*	225,33±42,53	219,00±26,29*	260,33±30,05*
Мочевая кислота, мкмоль/л	109,63±27,46	166,00±38,15	263,60±3,65	196,30±24,22	213,67±55,96
p-амилаза, Ед/л	100,13±85,09	321,87±28,88	285,67±42,54	271,00±32,73	329,80±40,72
Липаза, Ед/л	8,30±1,00	11,00±0,68*	12,00±1,29*	10,63±0,15*	13,13±2,13*

*Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

Табл. 2. Морфологические показатели крови кур-несушек при включении в рацион биологически активных веществ

Показатель	Контрольная (ОР)	I опытная (ОР + Цамакс)	II опытная (ОР + Ветом)	III опытная (ОР + Арбоцел)	IV опытная (ОР + Дигестаром)
Количество лейкоцитов, 10^9 /л	39,67±0,43	37,32±0,30*	36,30±2,63	37,93±2,22	42,27±1,73
Доля нейтрофилов, %	61,50±0,50	66,63±4,77*	55,40±15,17	44,60±12,66	33,90±4,72
Доля лимфоцитов, %	14,35±0,29	23,73±5,14	33,97±17,31	48,47±13,65	55,63±8,88
Доля моноцитов, %	1,88±0,88	2,73±0,24	0,48±0,25*	0,93±0,22***	0,57±0,26***
Доля эозинофилов, %	4,60±0,15	6,20±0,45*	5,47±0,32	5,70±0,85	9,40±3,96*
Доля базофилов, %	0,73±0,03	0,70±0,06*	0,37±0,12	0,30±0,00*	0,50±0,12
Лейкоцитарный индекс интоксикации	1,62	2,03	1,22	0,67	0,51
Количество эритроцитов, 10^{12} /л	2,24±0,01	2,21±0,05	2,12±0,07	2,16±0,12	2,30±0,01
Количество гемоглобина, г/л	127,67±0,33	121,33±4,37	115,33±3,18	115,67±4,37	125,67±1,76

*Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$, **при $p \leq 0,01$, ***при $p \leq 0,001$.

Табл. 3. Концентрация химических элементов в крови кур-несушек, мг/кг

Показатель	Контрольная (ОР)	I опытная (ОР + Цамакс)	II опытная (ОР + Ветом)	III опытная (ОР + Арбоцел)	IV опытная (ОР + Дигестаром)
Co	$21 \times 10^{-4} \pm 5 \times 10^{-4}$	$20 \times 10^{-4} \pm 5 \times 10^{-4}$	$29 \times 10^{-4} \pm 8 \times 10^{-4}$	$22 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-4}$	$31 \times 10^{-4} \pm 0,8 \times 10^{-4}$
Cr	$0,022 \pm 0,004$	$0,0104 \pm 0,0033$	$0,011 \pm 0,003$	$0,013 \pm 0,003$	$0,021 \pm 0,005$
Cu	$0,34 \pm 0,07$	$0,36 \pm 0,07$	$0,36 \pm 0,07$	$0,34 \pm 0,07$	$0,34 \pm 0,07$
Fe	$7,81 \pm 1,17$	$9,39 \pm 1,41$	$8,58 \pm 1,29$	$10,07 \pm 1,51$	$9,84 \pm 1,48$
I	$0,021 \pm 0,004$	$0,028 \pm 0,008$	$0,019 \pm 0,005$	$0,011 \pm 0,004$	$0,023 \pm 0,004$
Mn	$0,18 \pm 0,04$	$0,19 \pm 0,04$	$0,22 \pm 0,04$	$0,18 \pm 0,04$	$0,12 \pm 0,03$
Se	$0,29 \pm 0,06$	$0,16 \pm 0,03$	$0,19 \pm 0,04$	$0,23 \pm 0,05$	$0,21 \pm 0,04$
V	$532 \times 10^{-5} \pm 154 \times 10^{-5}$	$521 \times 10^{-5} \pm 151 \times 10^{-5}$	$512 \times 10^{-5} \pm 163 \times 10^{-5}$	$533 \times 10^{-5} \pm 161 \times 10^{-5}$	$511 \times 10^{-5} \pm 153 \times 10^{-5}$
Zn	$5,68 \pm 0,85$	$5,39 \pm 0,81$	$5,28 \pm 0,79$	$5,42 \pm 0,81$	$5,94 \pm 0,89$
Ca	$0,302 \pm 0,045$	$0,301 \pm 0,045$	$0,283 \pm 0,042$	$0,304 \pm 0,045$	$0,292 \pm 0,044$
K	$0,19 \pm 0,03$	$0,21 \pm 0,03$	$0,21 \pm 0,03$	$0,21 \pm 0,03$	$0,24 \pm 0,04$
Mg	$0,0312 \pm 53r$	$0,0411 \pm 63r$	$0,0323 \pm 54r$	$0,0341 \pm 54r$	$0,0423 \pm 62r$
Na	$3,22 \pm 0,48$	$3,22 \pm 0,48$	$3,22 \pm 0,48$	$3,22 \pm 0,48$	$3,22 \pm 0,48$
P	$0,66 \pm 0,1$	$0,57 \pm 0,09$	$0,48 \pm 0,07$	$0,50 \pm 0,07$	$0,75 \pm 0,11$
Cd	$23 \times 10^{-5} \pm 6 \times 10^{-5}$	$14 \times 10^{-5} \pm 4 \times 10^{-5}$	$32 \times 10^{-5} \pm 13 \times 10^{-5}$	$11 \times 10^{-5} \pm 5 \times 10^{-5}$	$12 \times 10^{-5} \pm 5 \times 10^{-5}$
Pb	$621 \times 10^{-6} \pm 243 \times 10^{-6}$	$632 \times 10^{-6} \pm 241 \times 10^{-6}$	$312 \times 10^{-6} \pm 112 \times 10^{-6}$	$523 \times 10^{-6} \pm 223 \times 10^{-6}$	$613 \times 10^{-6} \pm 241 \times 10^{-6}$

Табл. 4. Концентрация химических элементов в помете кур-несушек, мг/кг

Показатель	Контрольная (ОР)	I опытная (ОР + Цамакс)	II опытная (ОР + Ветом)	III опытная (ОР + Арбоцел)	IV опытная (ОР + Дигестаром)
Co	$0,89 \pm 0,107$	$0,67 \pm 0,080$	$0,61 \pm 0,073$	$0,62 \pm 0,074$	$0,76 \pm 0,092$
Cr	$10,65 \pm 1,07$	$7,59 \pm 0,76$	$9,12 \pm 0,91$	$6,90 \pm 0,69$	$8,03 \pm 0,80$
Cu	$44,84 \pm 4,48$	$36,17 \pm 3,62$	$34,55 \pm 3,46$	$41,20 \pm 4,12$	$40,79 \pm 4,08$
Fe	$541,00 \pm 54,00$	$524,00 \pm 52,00$	$535,00 \pm 53,00$	$437,00 \pm 44,00$	$493,00 \pm 49,00$
I	$1,75 \pm 0,180$	$1,94 \pm 0,190$	$2,68 \pm 0,270^*$	$1,89 \pm 0,190$	$1,87 \pm 0,190$
Mn	$336,00 \pm 34,000$	$362,00 \pm 36,000^*$	$344,00 \pm 34,000$	$348,00 \pm 35,000$	$354,00 \pm 35,000$
Se	$0,54 \pm 0,065$	$0,53 \pm 0,064$	$0,41 \pm 0,049$	$0,42 \pm 0,051$	$0,38 \pm 0,045$
Si	$75,65 \pm 7,56$	$65,76 \pm 6,58$	$98,25 \pm 9,82^*$	$74,95 \pm 7,50$	$86,88 \pm 8,69$
V	$2,77 \pm 0,28$	$2,00 \pm 0,20$	$1,86 \pm 0,19^{**}$	$1,77 \pm 0,18$	$1,80 \pm 0,18$
Zn	$314,00 \pm 31,00$	$338,00 \pm 34,00$	$390,00 \pm 39,00$	$461,00 \pm 46,00$	$409,00 \pm 41,00$
Ca	$71,09 \pm 7,11$	$34,53 \pm 3,45$	$46,35 \pm 4,64^{**}$	$29,76 \pm 2,98$	$45,24 \pm 4,52$
K	$16,95 \pm 1,70$	$17,44 \pm 1,74$	$22,08 \pm 2,21$	$17,86 \pm 1,79$	$18,60 \pm 1,86$
Mg	$6,41 \pm 0,641$	$6,79 \pm 0,679$	$7,47 \pm 0,747$	$7,18 \pm 0,718$	$7,94 \pm 0,794$
Na	$2,48 \pm 0,248$	$2,90 \pm 0,290^*$	$1,82 \pm 0,182$	$0,94 \pm 0,094$	$1,30 \pm 0,13^{**}$
P	$9,65 \pm 0,97$	$9,77 \pm 0,98$	$14,45 \pm 1,45$	$10,53 \pm 1,05$	$12,52 \pm 1,25$
Cd	$0,490 \pm 0,0590$	$0,370 \pm 0,0440$	$0,420 \pm 0,0500$	$0,390 \pm 0,0470$	$0,460 \pm 0,0550$
Pb	$0,31 \pm 0,037$	$1,42 \pm 0,140^{**}$	$0,34 \pm 0,041$	$0,37 \pm 0,044$	$0,32 \pm 0,038$

*Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$, **при $p \leq 0,01$.

Содержание химических элементов в крови птиц опытных групп достоверно не изменялось по сравнению с контрольной, что свидетельствует о постоянстве состава крови и отсутствии негативного влияния биологически активных добавок на гомеостаз (табл. 3).

Достоверные изменения концентрации химических элементов в помете наблюдали в I, II и IV опытных группах (табл. 4). В I опытной группе концентрация Mn увеличивалась на 7,7 % ($p \leq 0,05$), Na – на 16,9 % ($p \leq 0,05$), Pb – в 4,6 раза ($p \leq 0,01$). Во II опытной группе концентрация I и Si возрастала соответственно на 53,1 % ($p \leq 0,05$) и 29,9 % ($p \leq 0,05$) с одновременным снижением содержания V и Ca на 32,8 % ($p \leq 0,01$) и 34,8 % ($p \leq 0,01$). В IV опытной группе достоверно уменьшалась концентрация натрия на 47,6 % ($p \leq 0,01$).

В помете контрольной группы отмечали повышенную, по сравнению с опытными, концентрацию таких элементов, как Co, Cr, Cu, Fe, Se, Ca и Cd, что может быть связано с лучшим их всасыванием в желудочно-кишечном тракте птиц опытных групп при введении исследуемых препаратов.

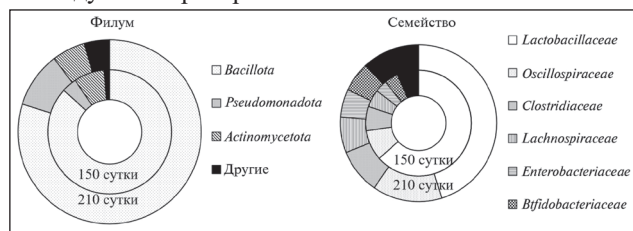


Рис. 2. Состав микробиома слепой кишки кур-несушек контрольной группы.

Исследование микробиома слепого отдела кишечника кур-несушек контрольной группы на разных этапах онтогенеза (рис. 2) показало, что доминирующими таксонами были филумы *Bacillota* (79,9...86,7 %), *Pseudomonadota* (3,9...9,75 %) и *Actinomycetota* (5,86...7,8 %), в основном представленные бактериями классов *Bacilli*, *Gammaproteobacteria* и *Actinomycetes* соответственно.

Основным таксоном микроорганизмов в кишечнике кур-несушек на разных этапах онтогенеза были представители р. *Lactobacillus*, на долю которых приходилось от 43,8 до 69,3 %. Снижение их численности (на 28,7 % на 210-е сутки по сравнению с 150-ми сутками) наблюдали по мере роста и развития птицы. Численность бактерий классов *Gammaproteobacteria* и *Actinomycetes* в микробиоте кишечника кур-несушек контрольной группы изменялась волнообразно в зависимости от возрастного периода.

Включение в рацион кур-несушек кормовой добавки Цамакс к возрасту 150 суток (рис. 3) вело к снижению количества бактерий, относящихся к филуму *Bacillota*,

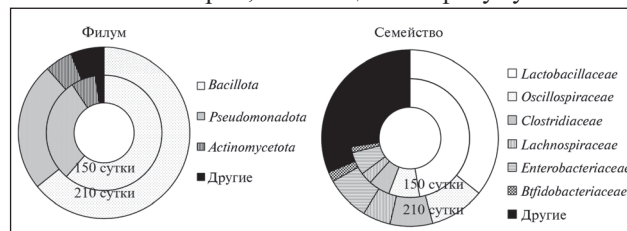


Рис. 3. Состав микробиома слепой кишки кур-несушек I опытной группы.

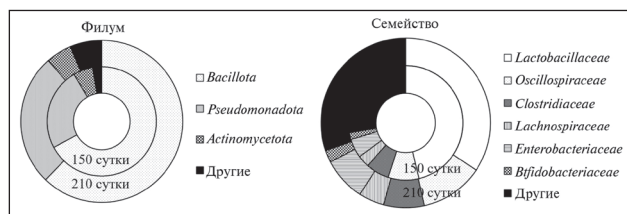


Рис. 4. Состав микробиома слепой кишки кур-несушек II опытной группы.

по сравнению с контролем, на 29,3 %. На 150-е и 210-е сутки эксперимента отмечали высокое содержание представителей филума *Pseudomonadota*: 29,4 % и 24,3 % против, соответственно, 3,9 % и 9,75 % в контроле. При этом на 210-е сутки наблюдали снижение численности бактерий семейства *Lactobacillaceae*, по сравнению с контролем, на 26,4 % и увеличение *Enterobacteriaceae* на 39,6 %. На уровне рода на 150-е сутки отмечали уменьшение численности микроорганизмов р. *Lactobacillus* и р. *Bifidobacterium*, по сравнению с контролем, на 16,8 % и 2,8 % соответственно, на 210-е сутки – на 10,6 и 2,9 %. Кроме того, в возрасте 210 суток отмечено снижение на 4,3 % количества бактерий, относящихся к р. *Faecalibacterium*, что согласуется с данными других авторов [32].

В целом введение Цамакса сопровождалось уменьшением содержания облигатной микрофлоры желудочно-кишечного тракта птицы (*Lactobacillaceae*, *Oscillospiraceae*, *Clostridiaceae* и *Lachnospiraceae*) одновременно с увеличением численности класса *Enterobacteriaceae*. Снижение численности бактерий семейства *Lactobacillaceae* под влиянием цеолита в составе препарата Цамакс приводило к уменьшению продукции лактата, снижающего рН химуса, что приводит к увеличению численности необлигатных бактерий (в нашем случае – *Enterobacteriaceae*).

Известно, что цеолиты, к числу которых относится препарат Цамакс, оказывают бактерицидное воздействие на патогенные организмы в кишечнике птиц [25], однако в нашем исследовании этого не наблюдали. Этот факт можно объяснить тем, что на бактерицидный эффект цеолитов могут влиять такие факторы, как тип цеолита, его чистота, физико-химические свойства и уровень добавок, используемых в рационе [33]. Кроме того, в научной литературе имеются сведения о том, что введение цеолита способствовало снижению поедаемости корма и увеличению времени пребывания корма в кишечнике из-за набухания цеолита, что может подтверждать перспективность его включения в рационы для улучшения конверсии и снижения скорости прохождения корма через пищеварительную систему птицы [25].

Использование кормовой добавки Ветом (рис. 4) приводило к изменению количественного соотношения основных таксономических групп микроорганизмов в микробиоте слепого отдела кишечника в течение всего эксперимента. В частности, в возрасте 150 суток число микроорганизмов филума *Bacillota* уменьшилось, в сравнении с контролем, на 19,6 %, *Actinomycetota* – на 2,1 %. На уровне родов такие изменения в основном выражались в уменьшении количества бактерий р. *Lactobacillus* и р. *Bifidobacterium* соответственно на 17 и 2 %. В то же время увеличение числа бактерий, относящихся к филуму *Pseudomonadota* на 20,5 % в микробиоте слепого отдела кишечника птицы, не приводило к значимым изменениям количественных показателей на более глубоких таксономических уровнях.

Последующий анализ таксономического состава микробиома слепого отдела кишечника птицы в возрасте 210 суток показал схожие изменения. Количество бактерий филума *Bacillota* было ниже на 17,7 %, в сравнении с контролем, а число микроорганизмов таксона *Pseudomonadota* больше на 16,6 %. Как и в возрасте 150 суток, в микробиоте слепого отдела кишечника птицы в 210 суток наблюдали изменения численности бактерий р. *Lactobacillus* (–9,9 %) и р. *Bifidobacterium* (–2,4 %). Кроме того, отмечено уменьшение числа бактерий, относящихся к р. *Faecalibacterium*, на 2,3 %, в сравнении с контролем. Это может быть одной из причин более низкой яйценоскости из-за меньшей всасываемости питательных веществ в кишечнике, так как известно, что в организме птиц значительную часть пищеварительных ферментов выделяют бактерии [33]. Результаты наших исследований согласуются с данными, свидетельствующими о том, что *B. subtilis* могут способствовать увеличению относительной численности *Pseudomonadota* [34]. Отсутствие значимых изменений численности *Pseudomonadota* на более глубоких таксономических уровнях может быть обусловлено тем, что *Bacillus subtilis*, введенные в состав рациона, способствуют поддержанию здорового состава микробиоценоза пищеварительной системы птицы на всем его протяжении в результате конкурентного исключения и антагонизма [34].

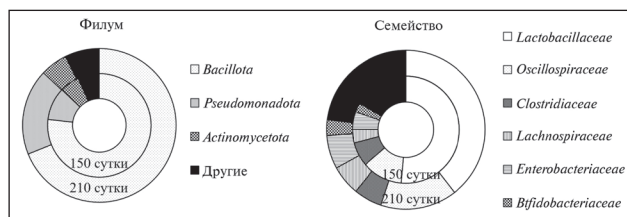


Рис. 5. Состав микробиома слепой кишки кур-несушек III опытной группы.

Характерная особенность действия кормовой добавки Арбоцел на микробиом слепого отдела кишечника кур-несушек заключалась в росте числа бактерий таксона *Pseudomonadota* (на 9...11 %) и уменьшении количества представителей филума *Bacillota* (на 6,4...8,34 %) в течение всего эксперимента (рис. 5). Происходило постепенное нарастание эффекта действия кормовой добавки на микробиом на высоких таксономических уровнях. В то же время на более низких таксономических уровнях степень воздействия на отдельные группы микроорганизмов микробиома кишечника снижалась. Значимые изменения отмечены для бактерий р. *Lactobacillus*. Уменьшение их численности, в сравнении с контролем, в возрасте 150 суток составило 10,7 %, 210 суток – 4,6 %. Количество микроорганизмов р. *Faecalibacterium* в микробиоме слепого отдела кишечника в возрасте птицы 150 суток было выше, чем в контроле, на 3 %, а в 210 суток – практически не изменялось. Бактерии рода *Faecalibacterium* обладают повышенной целлюлолитической активностью, что позволяет курам-несушкам более успешно переваривать целлюлозу и положительно влияет на их продуктивность [34, 35].

В ходе эксперимента отмечали увеличение численности бактерий, разлагающих целлюлозу (*Oscillospiraceae*, *Clostridiaceae*, *Lachnospiraceae*), на 210-е сутки по сравнению со 150-ми сутками. Известно, что у несушек отсутствуют эндогенные ферменты, разлагающие клетчатку, поэтому большую

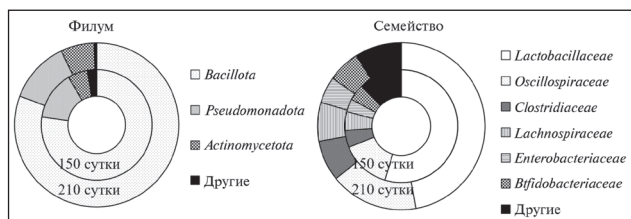


Рис. 6. Состав микробиома слепой кишки кур-несушек IV опытной группы.

роль в деструкции пищевых волокон, например целлюлозы, играют микроорганизмы, чем можно объяснить увеличение таких бактерий в кишечнике птицы в исследуемой группе при повышенной нагрузке целлюлозой из препарата Арбоцел.

Отмечено снижение численности других бактерий, традиционно обнаруживаемых в пищеварительном тракте птицы (*Lactobacillus*, *Bacilli*). Полученные неоднозначные результаты могут быть объяснены, с одной стороны, тем, что добавленные пищевые волокна в препарате Арбоцел служат своего рода разбавителем питательных веществ, а высокая концентрация клетчатки отрицательно влияет на пищеварение и всасывание питательных веществ в кишечнике [36], с другой стороны, добавление клетчатки может не оказывать значимого воздействия на микробиом слепой кишки [37], поэтому полученные в нашей работе данные соответствуют картине возрастного изменения микробиома несушек. Обсуждая воздействие введения в рацион с препаратом Арбоцел целлюлозных волокон, отметим наличие противоречивых данных относительно влияния пищевых волокон на микробиоту кишечника кур.

Общепризнано, что нерастворимые источники клетчатки не подвергаются интенсивному разложению бактериями, обитающими в пищеварительном тракте птиц [38]. С одной стороны, это связано с его анатомическими особенностями (относительно небольшая длина), которые обуславливают низкую скорость прохождения корма. Кроме того, некоторые исследования показывают, что в слепую кишку, которая, по-видимому, служит основным местом бактериальной ферментации клетчатки у кур [40], могут попасть только небольшие и растворимые фракции клетчатки [39]. С другой стороны, есть данные о невысокой целлюлозолитической активности бактерий в задней кишке кур [41]. Следовательно, влияние нерастворимой клетчатки на состав и активность кишечных бактерий может быть минимальным. Однако некоторые авторы предполагают, что пищевые волокна

Табл. 5. Корреляция между содержанием химических элементов в помете и микробиомом слепой кишки в опытных группах кур-несушек

Группа	Элемент	Семейство	Коэффициент корреляции
I	K	<i>Oscillospiraceae</i>	0,56
	Cr	<i>Oscillospiraceae</i>	0,63
	Mn	<i>Oscillospiraceae</i>	0,59
II	Cr	<i>Lachnospiraceae</i>	0,55
		<i>Oscillospiraceae</i>	0,60
	Se	<i>Lachnospiraceae</i>	0,72
		<i>Oscillospiraceae</i>	0,58
	Co	<i>Lachnospiraceae</i>	0,67
III		<i>Oscillospiraceae</i>	0,50
	I	<i>Oscillospiraceae</i>	0,72
	Fe	<i>Oscillospiraceae</i>	0,63
	P	<i>Oscillospiraceae</i>	0,53
IV	Mg	<i>Oscillospiraceae</i>	0,74
		<i>Lachnospiraceae</i>	0,69
	K	<i>Oscillospiraceae</i>	0,70
		<i>Lachnospiraceae</i>	0,55

могут ферментироваться в слепой кишке кур, поскольку изменяется кишечный бактериальный состав [42, 43], что совпадает с нашими данными.

При использовании в кормлении кур-несушек кормовой добавки Дигестаром (рис. 6) число бактерий, относящихся к филуму *Pseudomonadota*, увеличилось, по сравнению с контролем, на 25,1 % на 210-е сутки, что в основном было связано с ростом количества микроорганизмов класса *Gammaproteobacteria*. Одновременно наблюдали снижение числа бактерий, относящихся к филумам *Bacillota* и *Actinomycetota*, соответственно на 9,4 и 2,2 %. При этом в рамках таксона *Bacillota* изменения численности отдельных групп микроорганизмов были разнонаправленными. Так, число бактерий р. *Lactobacillus* снизилось, в сравнении с контролем, на 7,9 %, микроорганизмов р. *Faecalibacterium* – увеличилось на 4,9 %. По окончании эксперимента в возрасте птицы 210 суток численность *Lactobacillaceae* снизилась, по сравнению с результатами в возрасте 150 суток, на 13,7 %, *Oscillospiraceae* – увеличилась на 19,7 %, *Clostridiaceae* – на 61,2 %, *Lachnospiraceae* – на 39,2 %.

Наблюдаемая пластичность микробиома означает изменение количественного и качественного состава бактерий под влиянием вносимых препаратов, что впоследствии прямым образом может оказывать влияние на эффективность выращивания птицы. В исследовании зарубежных коллег пластичность микробиома выражалась в увеличении численности бактерий, разлагающих целлюлозу, что способствовало более эффективному перевариванию кормов [44].

В нашем эксперименте на 210-е сутки, по сравнению со 150-ми сутками, при внесении Дигестарома на фоне снижения численности бактерий семейства *Lactobacillaceae* отмечено увеличение численности представителей семейства *Bifidobacteriaceae*, *Lachnospiraceae*, *Ruminosoccaceae*. Известно, что добавки растительных экстрактов, к которым относится и препарат Дигестаром, улучшают показатели роста, усвояемость питательных веществ, эффективность корма и состояние микробиома кишечника домашней птицы, в том числе благодаря изменению качественного и количественного состава микробиоты желудочно-кишечного тракта [45].

Добавка Дигестаром оказывала влияние на показатели роста птицы. Это выражалось в приросте массы тела с одновременным снижением конверсии корма у цыплят-бройлеров [45].

По результатам корреляционного анализа в I группе увеличение численности бактерий семейства *Oscillospiraceae* прямо коррелировало с содержанием в помете птицы K, Cr, Mn; во II группе увеличение численности бактерий семейства *Lachnospiraceae* и *Oscillospiraceae* – с Cr, Se, Co; в III группе корреляция была выявлена между численностью бактерий семейства *Oscillospiraceae* и I, Fe, P; в IV группе – между численностью бактерий семейств *Oscillospiraceae*, *Lachnospiraceae* и Mg, K (табл. 5).

Выявленные корреляции могут быть связаны с рядом факторов, включая различия в соединениях металлов, качественном и количественном разнообразии видов бактерий в базовой микробиоте, ионной селективности бактерий, а также метаболическими процессами в бактериальном сообществе [46]. В нашем случае изученные пищевые добавки в ходе эксперимента способствовали накоплению ряда эссенциальных микроэлементов на 210-е сутки, что может быть связано с ионообменными свойствами препаратов Цамакс, Арбоцел и Дигестаром [47], а также со способностью

пробиотических препаратов в составе Ветомы аккумулировать металлы [48].

Выводы. Введение биологически активных добавок в рацион кур-несушек обеспечивало увеличение яйценоскости птиц, а также улучшение конверсии корма в продукцию. Влияние вводимых добавок на организм птиц выражалось в увеличении количества белка и липазы в крови во всех опытных группах, α -амилазы – в I, III и IV группе, а также в тенденции к снижению лейкоцитарного индекса интоксикации во II, III и IV группе.

При этом изучаемые добавки не влияли на концентрацию химических элементов в крови. Наибольшее содержание минеральных элементов в помете отмечено в контрольной группе, что может быть связано с их повышенным всасыванием в желудочно-кишечном тракте птиц опытных групп на фоне введения исследуемых добавок, которые в разной степени улучшают кишечное пищеварение и усвоение этих элементов.

Изменение профиля микробного сообщества слепой кишки кур-несушек в большей степени зависело от возрастной динамики, чем от вводимых добавок. Введение препаратов в корм птице к 210-м суткам вело к преимущественному повышению численности целлюлозоразлагающих бактерий с одновременным накоплением макро- и эссенциальных микроэлементов, по сравнению с контролем, что свидетельствует о возможности увеличения усвояемости питательных веществ при их использовании.

Наличие зависимостей между численностью определенных семейств бактерий и содержанием различных химических элементов в помете птиц позволяет глубже понять механизмы взаимодействия между элементами питания и микробиотой кишечника, что открывает возможности для коррекции элементного статуса организма птиц посредством целенаправленного подбора рационов с учетом выявленных закономерностей.

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует возможность оптимизации кормления кур-несушек с использованием биологических добавок, что ведет к улучшению продуктивности и снижению затрат корма. Полученные данные могут служить основой для разработки рекомендаций по корректировке рационов с целью достижения оптимального элементного баланса в организме птицы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН при поддержке Государственного проекта № FNWZ-2024-0003. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с Национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009 и правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН. Протокол заседания комиссии по контролю за содержанием и использованием лабораторных животных № 2/1 от 30.04.2024 г.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ.

Авторы благодарят сотрудников Центра коллективного пользования (<http://ckp-rf.ru/ckp/77384>) Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук за помощь в лабораторных исследованиях и технической поддержке.

Литература.

1. Ricke S. C., Dittoe D. K., Richardson K. E. *Formic Acid as an Antimicrobial for Poultry Production: A Review.* // *Frontiers in Veterinary Science*. 2020. Vol. 7. P. 563. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2020.00563/full> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3389/fvets.2020.00563.
2. *Potential of Essential Oils for Poultry and Pigs* / H. Zhai, H. Liu, S. Wang, et al. // *Animal Nutrition*. 2018. Vol. 4. No. 2. P. 179–186. doi: 10.1016/j.aninu.2018.01.005.
3. Al-Khalaf H. S. *Benefits of Probiotics and/or Prebiotics for Antibiotic-Reduced Poultry.* // *Poultry Science*. 2018. Vol. 97 No. 11. P. 3807–3815. doi: 10.3382/ps/peyl60.
4. Ricke S. C., Richardson K., Dittoe D. K. *Formaldehydes in Feed and Their Potential Interaction with the Poultry Gastrointestinal Tract Microbial Community. A Review.* // *Frontiers in Veterinary Science*. 2019. Vol. 6. P. 188. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2019.00188/full> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3389/fvets.2019.00188.
5. *Broad-Host-Range Salmonella Bacteriophage STP4-A and Its Potential Application Evaluation in Poultry Industry.* / M. Li, H. Lin, Y. Jing, et al. // *Poultry Science*. 2020. Vol. 99. No. 7. P. 3643–3654. doi: 10.1016/j.psj.2020.03.051.
6. *Nano Zinc, an Alternative to Conventional Zinc as Animal Feed Supplement: A Review.* / P. S. Swain, S. B. N. Rao, D. Rajendran, et al. // *Animal Nutrition*. 2016. Vol. 2. No. 3. P. 134–141. doi: 10.1016/j.aninu.2016.06.003.
7. *Systematic Review and Meta-Analysis of the Effect of Feed Enzymes on Growth and Nutrient Digestibility in Grow-Finisher Pigs: Effect of Enzyme Type and Cereal Source.* / A. Torres-Pitarch, E. G. Manzanilla, G. E. Gardiner, et al. // *Animal Feed Science and Technology*. 2019. Vol. 251. P. 153–165. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.12.007.
8. *Uncaria Tomentosa (Willd. Ex Schult.) DC.: A Review on Chemical Constituents and Biological Activities.* / G. E. S. Batiha, A. M. Beshbishy, L. Wasef, et al. // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10. P. 2668. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/8/2668> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3390/app10082668.
9. Sumiati S., Darmawan A., Hermana W. *Performances and Egg Quality of Laying Ducks Fed Diets Containing Cassava (Manihot Esculenta Crantz) Leaf Meal and Golden Snail (Pomacea Canaliculata).* // *Tropical Animal Science Journal*. 2020. Vol. 43. P. 227–232. doi: 10.5398/tasj.2020.43.3.227.
10. *Dietary Inclusion Effects of Phytochemicals as Growth Promoters in Animal Production.* / N. V. Valenzuela-Grijalva, A. Pinelli-Saavedra, A. Muhlia-Almazan, et al. // *Journal of Animal Science and Technology*. 2017. Vol. 59. P. 8. URL: <https://janimsicitechnol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40781-017-0133-9> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.1186/s40781-017-0133-9.
11. *Conservation and Sustainable Use of Medicinal Plants: Problems, Progress, and Prospects.* / S. L. Chen, H. Yu, H. M. Luo, et al. // *Chinese Medicine*. 2016. Vol. 11. P. 37. URL: <https://cmjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13020-016-0108-7> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.1186/s13020-016-0108-7.
12. *Exploitation of Chemical, Herbal and Nanoformulated Acaricides to Control the Cattle Tick, Rhipicephalus (Boophilus) Microplus. A Review.* / B. Banumathi, B. Vaseeharan, P. Rajasekar // *Veterinary Parasitology*. 2017. Vol. 244. P. 102–110. doi: 10.1016/j.vetpar.2017.07.021.

13. Probiotics, Prebiotics and Competitive Exclusion for Prophylaxis Against Bacterial Disease. / T. R. Callaway, T. S. Edrington, R. C. Anderson, et al. // *Animal Health Research Reviews*. 2008. Vol. 9. P. 217–225. doi: 10.1017/S1466252308001540.
14. Gaggia F., Mattarelli P., Biavati B. Probiotics and Prebiotics in Animal Feeding for Safe Food Production. // *International Journal of Food Microbiology*. 2010 Vol. 141. P. 15–28. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.031.
15. Laying Performance and Egg Quality of Hens Supplemented with Humate and Sodium Bicarbonate During the Late Laying Period. / M. A. Yörük, M. Gül, A. Hayirli, et al. // *Journal of Applied Animal Research*. 2004. Vol. 26. P. 17–21. doi: 10.1080/09712119.2004.9706498.
16. Effects of Dietary Probiotic (*Pediococcus Acidilactici*) Supplementation on Performance, Nutrient Digestibility, Egg Traits, Egg Yolk Cholesterol, and Fatty Acid Profile in Laying Hens. / D. Mikulski, J. Jankowski, J. Naczmannski, et al. // *Poultry Science*. 2012. Vol. 91. P. 2691–2700. doi: 10.3382/ps.2012-02370.
17. Identification of Lactobacilli Isolated from the Cloaca and Vagina of Laying Hens and Characterization for Potential Use as Probiotics to Control Salmonella Enteritidis. / E. Coillie, J. Van Goris, I. Cleenwerck, et al. // *Journal of Applied Microbiology*. 2010. Vol. 102. P. 1095–1106. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.03164.x.
18. Effects of Different Probiotics on Laying Performance, Egg Quality, Oxidative Status, and Gut Health in Laying Hens. / Q. Xiang, C. Wang, H. Zhang, et al. // *Animals (Basel)*. 2019. Vol. 9. No. 12. P. 1110. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/9/12/1110> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3390/ani9121110.
19. Effects of Probiotic-Supplemented Diets on Growth Performance and Intestinal Immune Characteristics of Broiler Chickens. / S. P. Bai, A. M. Wu, X. M. Ding, et al. // *Poultry Science*. 2013. Vol. 92. P. 663–670. doi: 10.3382/ps.2012-02813.
20. Torki M., Mohebbifar A., Mohammadi H. Effects of Supplementing Hen Diet with *Lavandula Angustifolia* and/or *Mentha Spicata* Essential Oils on Production Performance, Egg Quality and Blood Variables of Laying Hens. // *Veterinary Medical Science*. 2021. Vol. 7. No. 1. P. 184–193. doi: 10.1002/vms3.343.
21. The Assessment of Serum Trace Element Levels as the Diagnostic Biomarkers of Functional State of Broiler Chickens. / S. Lebedev, T. Kazakova, O. Marshinskaia, et al. // *Veterinary World*. 2023. Vol. 16. No. 7. P. 1512–1519.
22. Нотова С. В. Эколого-физиологическое обоснование методов коррекции элементного статуса и функциональных резервов организма человека: дис. д-ра мед. наук / Нотова Светлана Викторовна. Оренбург, 2005. 314 с.
23. Sozcu A. The Effects of Lignocellulose Supplementation on Laying Performance, Egg Quality Parameters, Aerobic Bacterial Load of Eggshell, Serum Biochemical Parameters, and Jejunal Histomorphological Traits of Laying Hens. // *Poultry Science*. 2020. Vol. 99. No. 6. P. 3179–3187. doi: 10.1016/j.psj.2020.01.024.
24. Pine (*Pinus Massoniana* Lamb.) Needle Extract Supplementation Improves Performance, Egg Quality, Serum Parameters, and the Gut Microbiome in Laying Hens. / Y. Guo, S. Huang, L. Zhao, et al. // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. P. 810462. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2022.810462/full> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3389/fnut.2022.810462.
25. Effect of Dietary Supplementation of Fermented Pine Needle Extract on Productive Performance, Egg Quality, and Serum Lipid Parameters in Laying Hens. / D. Kothari, J. S. Oh, J. H. Kim, et al. // *Animals*. 2021. Vol. 11. P. 1475. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/5/1475> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3390/ani11051475.
26. Ohashi Y., Hiraguchi M., Ushida K. The Composition of Intestinal Bacteria Affects the Level of Luminal IgA. // *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2014. Vol. 70. P. 3031–3035.
27. Kim Y. J. Effects of Dietary Supplementation of Pine Needle Powder on Carcass Characteristics and Blood Cholesterol Contents of Broiler Chicken. // *Korean Journal of Poultry Science*. 2011. Vol. 38. P. 51–57. doi: 10.5536/KJPS.2011.38.1.051.
28. Sozcu A. Growth Performance, pH Value of Gizzard, Hepatic Enzyme Activity, Immunologic Indicators, Intestinal Histomorphology, and Cecal Microflora of Broilers Fed Diets Supplemented with Processed Lignocellulose. // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98. No. 12. P. 6880–6887. doi: 10.3382/ps/pez449.
29. Сизова Е. А., Королев В. Л., Макаев Ш. А. Морфобихимические показатели крови у бройлеров при коррекции рациона солями и наночастицами Cu. // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 6. С. 903–911. doi: 10.15389/agrobiol.2016.6.903rus. E
30. Li X. L., He W. L., Wang Z. B. Effects of Chinese Herbal Mixture on Performance, Egg Quality and Blood Biochemical Parameters of Laying Hens. // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2016. Vol. 100. P. 1041–1049. doi: 10.1111/jpn.12473.
31. Effect of zeolite dietary supplementation on physiological responses and production of laying hens drinking saline well water in South Sinai. / K. R. S. Emam, H. M. Toraih, A. M. Hassan, et al. // *World Veterinary Journal*. 2019. Vol. 9. P. 109–122.
32. Kim D. W., Kim J. H., Kang G. H. Effects of Water Extract Mixtures from *Artemisia Capillaris*, *Camellia Sinensis*, *Schizandra Chinensis*, and *Viscum Album* Var. *Coloratum* on Laying Performance, Egg Quality, Blood Characteristics, and Egg Storage Stability in Laying Hens. // *Food Science and Animal Resources*. 2010. Vol. 30. P. 449–457. doi: 10.5851/kosfa.2010.30.3.449.
33. Nys Y., Schlegel P., Durosoy S. Adapting Trace Mineral Nutrition of Birds for Optimising the Environment and Poultry Product Quality. // *World's Poultry Science Journal*. 2018. Vol. 74. P. 225–238. doi: 10.1017/S0043933918000016.
34. Egorov I. A., Lenkova T. N., Manukyan V. A. Poultry Diets Without Antibiotics. I. Intestinal Microbiota and Performance of Broiler (*Gallus Gallus* L.) Breeders Fed Diets with Enterosorbent Possessing Phytobiotic and Probiotic Effects. // *Agricultural Biology*. 2019. Vol. 54. No. 2. P. 280–290. doi: 10.15389/agrobiol.2019.2.280rus. EDN ZIGJVR.
35. Фисинин В. И., Лаптев Г. Ю., Никонов И. Н. Изменение бактериального сообщества в желудочно-кишечном тракте кур в онтогенезе. // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 6. С. 883–890. doi: 10.15389/agrobiol.2016.6.883rus.
36. Tejeda-O. J., Kim W. K. Role of Dietary Fiber in Poultry Nutrition. // *Animals*. 2021. Vol. 11. No. 2. P. 461. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/2/461> (дата обращения: 22.09.2024).
37. Sun B., Hou L., Yang Y. Effects of Adding Eubiotic Lignocellulose on the Growth Performance, Laying Performance, Gut Microbiota, and Short-Chain

- Fatty Acids of Two Breeds of Hens. // Frontiers in Veterinary Science. 2021. Vol. 8. P. 668003. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2021.668003/full> (дата обращения: 22.09.2024).*
38. Jha R. Dietary Fiber and Intestinal Health of Monogastric Animals. // *Frontiers in Veterinary Science. 2019. Vol. 6. P. 48. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2019.00048/full> (дата обращения: 22.09.2024).*
 39. Józefiak D., Rutkowski A., Martin S. A. Carbohydrate Fermentation in the Avian Ceca: A Review. // *Animal Feed Science and Technology. 2004. Vol. 113. No. 1.4. P. 1–15. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840103002943?via%3Dihub> (дата обращения: 22.09.2024).*
 40. Rougière N. Effects of Diet Particle Size on Digestive Parameters in D+ and D-Genetic Chicken Lines Selected for Divergent Digestion Efficiency. // *Poultry Science. 2009. Vol. 88. No. 6. P. 1206–1215.*
 41. Waite D. W., Taylor M. W. Characterizing the avian gut microbiota: membership, driving influences, and potential function // *Frontiers in Microbiology. 2014. Vol. 5. P. 91622. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2014.00223/full> (дата обращения: 22.09.2024).*
 42. Zeitz J. O. et al. Effects of dietary supplementation of the lignocelluloses FibreCell and OptiCell on performance, expression of inflammation-related genes and the gut microbiome of broilers // *Poultry Science. 2019. Vol. 98. No. 1. P. 287–297.*
 43. Effect of feeding different levels of lignocellulose on performance, nutrient digestibility, excreta dry matter, and intestinal microbiota in slow growing broilers / I. Röhe, F. Metzger, W. Vahjen, et al. // *Poultry Science. 2020. Vol. 99. No. 10. P. 5018–5026. doi: 10.1016/j.psj.2020.06.053.*
 44. Belali M., Seidavi A., Bouyeh M. Effects of short-term and combined use of thyme powder and aqueous extract on growth performance, carcass and organ characteristics, blood constituents, enzymes, immunity, intestinal morphology and fatty acid profile of breast meat in broilers // *Large Animal Review. 2021. Vol. 27. No. 4. P. 223–232.*
 45. Phytogenic Feed Additives as an Alternative to Antibiotic Growth Promoters in Broiler Chickens. / G. R. Murugesan, B. Syed, S. Haldar, et al. // *Front Vet Sci. 2015. Vol. 2. P. 21. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2015.00021/full> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3389/fvets.2015.00021.*
 46. Influence of toxic metal exposure on the gut microbiota (Review). / F. Giambò, S. Italia, M. Teodoro, et al. // *World Academy of Sciences Journal. 2021. Vol. 3. No. 2. P. 19. URL: <https://www.spandidos-publications.com/10.3892/wasj.2021.90> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3892/wasj.2021.90.*
 47. Effects of a Combination of Xylanase, Amylase and Protease, and Probiotics on Major Nutrients Including Amino Acids and Non-Starch Polysaccharides Utilization in Broilers Fed Different Levels of Fibers. / A. K. Singh, U. P. Tiwari, J. D. Berrocoso, et al. // *Poultry Science. 2019. Vol. 98. No. 11P. 5571–5581. doi: 10.3382/ps/pez310.*
 48. Гречкина В. В., Лебедев С. В. Влияние Цамакса и Ветома на биохимические показатели крови и содержание минеральных веществ в организме цыплят-бройлеров. // *Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 2. С. 118–129. doi: 10.33284/2658-3135-105-2-118.*

Поступила в редакцию 11.10.2024

После доработки 14.11.2024

Принята к публикации 07.02.2025