

Использование ферментативного пробиотика на фоне конопляного жмыха в рационе цыплят-бройлеров

Я. А. СИЗЕНЦОВ, О. В. КВАН, Е. В. ШЕЙДА, Ш. Г. РАХМАТУЛЛИН, Г. К. ДУСКАЕВ

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, ул. 9 Января, Оренбург, Оренбургская обл., 460000, Российская Федерация

Резюме. Исследование проводили с целью выявления влияния добавки конопляного жмыха и ферментативного пробиотика Целлобактерин-Т на метаболические процессы и нутриентный состав мяса цыплят-бройлеров кросса Арбор Айкрес. Для постановки эксперимента были сформированы четыре группы птиц (по 35 особей в каждой). Птица контрольной группы получала основной рацион (ОР), I опытной – ОР с добавлением 500 мг/кг Целлобактерина-Т, II опытной – 90 % ОР с заменой 10 % по массе на конопляный жмых, III опытной – 90 % ОР с 10 % конопляным жмыхом и 500 мг/кг Целлобактерина-Т. Использование изучаемого пробиотика приводило к увеличению содержания липидов в мышечной ткани (на 0,8...1,4 %) и незначительному снижению содержания белка в грудных мышцах (на 1,9 %), по отношению к контрольной группе. Включение конопляного жмыха (как самостоятельно, так и в сочетании с Целлобактерином-Т) способствовало повышению содержания сухого вещества (на 0,1...0,8 %) и протеина (на 0,1...1,3 %) в грудных мышцах, относительно контроля. В грудных мышцах цыплят опытных групп возрастала концентрация железа (на 5,82...43,80 %), марганца (на 1,69...8,47 %), меди (на 19,47...66,37 %), по сравнению с контрольной. Наибольшее снижение содержания токсичных элементов отмечали в бедренных мышцах, во всех опытных группах концентрация кадмия уменьшилась на 90,0 %, свинца – на 60,0...80,0 %, алюминия – на 46,9...51,2 %. Добавление Целлобактерина-Т привело к снижению уровня стронция в грудной мышце на 33,3 %, алюминия – на 36,0 %, использование конопляного жмыха – к уменьшению содержания алюминия на 39,8 %, а совместное их использование – к сокращению количества кадмия и алюминия на 70,0 % и 51,9 % соответственно.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, пробиотик, Целлобактерин-Т, конопляный жмых, мышечная ткань, химический состав.

Сведения об авторах: Я. А. Сизенцов, аспирант (e-mail: kwan111@yandex.ru); О. В. Кван, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; Е. В. Шейда, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник; Ш. Г. Рахматуллин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; Г. К. Дускаев, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник.

Для цитирования: Использование ферментативного пробиотика на фоне конопляного жмыха в рационе цыплят-бройлеров / Я. А. Сизенцов, О. В. Кван, Е. В. Шейда и др. // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 5. С. 77–84. doi: 10.53859/02352451_2025_39_5_77

Use of enzymatic probiotic against the background of hemp cake in the diet of broiler chickens

Ya. A. Sizentsov, O. V. Kvan, E. V. Sheida, Sh. G. Rakhmatullin, G. K. Duskaev

Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies, Russian Academy of Sciences, ul. 9 Yanvarya, Orenburg, Orenburgskaya obl., 460000, Russian Federation

Abstract. The study aimed to determine the effect of hemp cake and enzymatic probiotic Cellobacterin-T supplementation on metabolic processes and nutrient composition of Arbor Acres broiler meat. Four groups of birds (35 individuals each) were formed for the experiment. Birds in the control group received the basic diet (BD), the first experimental group received BD with the addition of 500 mg/kg Cellobacterin-T, the second experimental group received 90% BD with 10% by weight replaced by hemp cake, and the third experimental group received 90% BD with 10% hemp cake and 500 mg/kg Cellobacterin-T. The use of the studied probiotic resulted in an increase in the lipid content in muscle tissue (by 0.8-1.4%) and a slight decrease in the protein content in the pectoral muscles (by 1.9%), in relation to the control group. The inclusion of hemp cake (both alone and in combination with Cellobacterin-T) contributed to an increase in the dry matter content (by 0.1-0.8%) and protein (by 0.1-1.3%) in the pectoral muscles, relative to the control. In the pectoral muscles of chickens in the experimental groups, the concentration of iron (by 5.82-43.80%), manganese (by 1.69-8.47%), copper (by 19.47-66.37%) increased, compared to the control. The greatest decrease in the content of toxic elements was observed in the femoral muscles, in all experimental groups the concentration of cadmium decreased by 90.0%, lead – by 60.0-80.0%, aluminium – by 46.9-51.2%. The addition of Cellobacterin-T resulted in a decrease in the level of strontium in the pectoral muscle by 33.3%, aluminium by 36.0%, the use of hemp cake resulted in a decrease in the aluminium content by 39.8%, and their combined use resulted in a decrease in the amount of cadmium and aluminium by 70.0% and 51.9%, respectively.

Keywords: broiler chickens; probiotic; Cellobacterin-T; hemp cake; muscle tissue; chemical composition.

Author Details: Ya. A. Sizentsov, post graduate student; O. V. Kvan, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow; E. V. Sheida, D. Sc. (Biol.), leading research fellow; Sh. G. Rakhmatullin, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow; G. K. Duskaev, D. Sc. (Biol.), leading research fellow.

For citation: Sizentsov YaA, Kvan OV, Sheida EV, et al. [Use of enzymatic probiotic against the background of hemp cake in the diet of broiler chickens]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2025;39(5):77–84. Russian. doi: 10.53859/02352451_2025_39_5_77

В целях снижения затрат на производство животноводческой продукции сегодня активно изучают альтернативные стратегии кормления [1], основанные на использовании растений, трав, овощей и отходов их переработки [2, 3]. Подобные компоненты рассматривают как потенциальные источники экологически чистых продуктов, удовлетворяющих физиологические потребности животных и спрос потребителей. Альтернативные подходы к кормлению представляют собой экономически привлекательное решение для животноводства и птицеводства, способствуя повышению

рентабельности и устойчивому развитию этих отраслей. Однако одним из основных ограничений использования отходов растениеводства в рационах сельскохозяйственных животных и птицы считают возможность снижения усвоения питательных веществ в желудочно-кишечном тракте. Это связано с тем, что отходы содержат не только трудноперевариваемые пищевые волокна, но и антипитательные вещества. Для решения этой проблемы в основной рацион наряду с растительными отходами широко вводят экзогенные ферменты или другие биологически активные вещества [4].

Применение конопляного жмыха в рационах сельскохозяйственной птицы представляет практический интерес как альтернатива дорогостоящим компонентам кормовой базы. В России в последние годы наблюдается тенденция к увеличению посевных площадей технической конопли; в 2024 г. посевные площади увеличились на 36,7 %, по сравнению с 2023 г. Современные научные публикации свидетельствуют о положительном влиянии жмыха конопли (*Cannabis sativa* L.) на липидный профиль мяса и крови, окислительный статус, здоровье кишечника [5, 6] и иммунитет цыплят-бройлеров [7]. Результаты исследований [8] указывают на благоприятное иммуномодулирующее действие листьев *C. Sativa* на клеточно-опосредованные и гуморальные иммунные реакции у бройлеров, обусловленное увеличением субпопуляций лимфоцитов. Несмотря на перспективность использования жмыха конопли в рационах цыплят-бройлеров [9, 10], применение конопляных отходов в рационах животных с однокамерным желудком требует дальнейшего изучения для определения оптимального уровня включения и сроков введения [11]. Одним из факторов, ограничивающих использование конопляного жмыха (отхода производства конопляного масла), считают высокое содержание клетчатки, которая плохо усваивается организмом цыплят-бройлеров. Включение их в рацион кормовых добавок, содержащих целлюлозолитические бактерии, может способствовать повышению перевариваемости этого компонента. К такой группе препаратов отнесен препарат Целлобактерин-Т, содержащий пробиотические штаммы микроорганизмов, продуцирующих целлюлозолитические ферменты и обладающих антагонистической активностью в отношении патогенных и условно-патогенных бактерий, а также пребиотический компонент, подкисляющий содержимое тонкого кишечника [12].

Цель исследования – повышение эффективности использования конопляного жмыха в рационах бройлерных цыплят путём применения ферментативного пробиотика.

Условия, материалы и методы. Экспериментальные исследования проводили в отделе кормления и технологии кормов имени профессора С.Г. Леушина в Центре коллективного пользования «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ЦКП ФНЦ БСТ РАН (<https://цкп-бст.рф>)). Объектом исследования были 140 семидневных цыплят-бройлеров кросса Арбор Айкрес. Животные были распределены методом пар-аналогов на четыре группы (по 35 голов в каждой). Птица контрольной группы получала 100 % основного рациона (ОР). Кормление птицы осуществляли с использованием комбикормов ПК 5 «рост» и ПК 6 «финиш-1» (г. Оренбург, ОАО «Оренбургский комбикормовый завод»). В период с 7 по 21 день в кормлении использовали ПК 5 «рост», в состав которого входят пшеница, кукуруза, соя полножирная, шрот соевый, шрот подсолнечный, мука мясокостная, масло подсолнечное, аминокислоты, известняк, витаминно-минеральный премикс, ферментный комплекс, кокцидиостатик, с 21 по 42 день – ПК 6 «финиш-1» (пшеница, кукуруза, соя полножирная, шрот соевый, шрот подсолнечный, мука мясокостная, масло подсолнечное, аминокислоты, монокальцийфосфат, известняк, витаминно-минеральный премикс, ферментный комплекс, антиоксиданты). I опытная группа получала

100 % ОР с добавлением пробиотического препарата Целлобактерин-Т в дозировке 500 мг/кг корма. II опытная группа получала 90 % ОР и 10 % конопляного жмыха. III опытная группа получала 90 % ОР и 10 % конопляного жмыха в сочетании с Целлобактерином-Т в дозировке 500 мг/кг корма. Замену ОР на конопляный жмых в опытных группах (II и III) осуществляли по массе. Кормление выполняли один раз в сутки. Ежедневно (утром) учитывали поедаемость корма. Птицу поили без ограничений.

Обслуживание животных и проведение экспериментальных исследований осуществляли в соответствии с «Положением об этике использования животных» (The Guide for the Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press, Вашингтон, округ Колумбия, 1996)) с целью минимизации страданий животных и сокращения количества используемых образцов.

Еженедельно проводили контроль массы тела путем индивидуального взвешивания птицы утром перед кормлением (± 1 г) в течение 35-ти дневного учетного периода с использованием электронных весов МТ 6 МГДА «Базар» («Мидл», Москва, Россия). На основании ежедневного учета потребления корма и его химического состава определяли поступление питательных веществ в организм опытных цыплят-бройлеров.

Формирование средней пробы помёта включало отделение помёта от пера, тщательное перемешивание материала, отбор средней пробы за сутки с последующим составлением средней пробы за неделю. Собранные пробы помёта хранили при температуре 2...5°C, затем высушивали при температуре 60...70°C. Полученную массу измельчали и помещали в контейнер с притёртой крышкой. Химический состав кормов и помёта определяли по стандартным методикам ГОСТ 31640-2012 (Методы определения содержания сухого вещества), ГОСТ 32044.1-2012 (Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина), ГОСТ 13496.15-2016 (Методы определения массовой доли сырого жира).

Образцы крови отбирали из крыльевой вены утром перед убоем. Анализ гематологических показателей проводили по стандартным методикам в независимом аккредитованном испытательном центре ФНЦ БСТ РАН с использованием ветеринарного автоматического гематологического анализатора DF50 Vet и автоматического биохимического анализатора DIRUI CS-T240 («DiruiIndustrialCo.Ltd», Китай), применяя коммерческие биохимические наборы для ветеринарии ДиаВетТест (Россия). Исследование сыворотки проводили не позднее чем через 2 часа после взятия крови.

Активность супероксиддисмутазы (СОД), определяемую методом, основанным на ингибировании реакции аутоокисления адреналина в щелочной среде, каталазы (оцениваемой по скорости разложения перекиси водорода) и содержание малонового диальдегида (МДА), определяемого по реакции с тиобарбитуровой кислотой, в плазме крови измеряли спектрофотометрическим методом с использованием анализатора Stat Fax 1904 Plus.

Анализ химического состава мяса и мясопродуктов проводили с использованием стандартизированных методик (ГОСТ 51479-99. Метод определения массовой доли влаги; ГОСТ 23042-86. Методы определения жира; ГОСТ 25011-81. Методы определения белка;

ГОСТ Р 53642-2009. Метод определения массовой доли золы).

Определение элементного состава кормов, мяса цыплят-бройлеров и субстратов проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, используя систему Agilent 7900 в сочетании с системой ВЭЖХ 1260 Infinity II BIO-Inert (Agilent Technologies, США).

Статистическую обработку результатов выполняли с использованием параметрического t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. В ходе эксперимента у птиц во всех опытных группах наблюдали увеличение живой массы. В возрасте 14 дней живая масса цыплят в группе, получавшей Целлобактерин-Т (группа I), увеличилась на 6,00 %, по сравнению с контрольной группой, тогда как в группах, получавших конопляный жмых (группа II) и комбинацию добавок (группа III), абсолютный прирост за неделю был меньше – на 1,85...2,40 %. При этом разница между значениями, полученными в I и II группах, составила 8,0 %, между I и III группами – 8,6 % (в обоих случаях в пользу I группы). Разница между II и III группами была незначительной и составляла 0,5 % в пользу II группы (см. рисунок).

К 21-му дню в группах, получавших Целлобактерин-Т и конопляный жмых, наблюдали снижение живой массы, по сравнению с контрольной группой, на 6,09 и 6,21 % ($p < 0,05$). Такое снижение может быть связано с адаптацией пищеварительной системы цыплят к изменениям в рационе и, возможно, временным нарушением баланса микробиоты кишечника, вызванным введением Целлобактерина-Т или конопляного жмыха. В группе, получавшей комбинацию добавок, отмечали увеличение массы на 3,74 %. При этом в группах, получавших Целлобактерин-Т и конопляный жмых, абсолютный прирост за неделю был ниже, чем в контрольной группе, на 23,9 ($p < 0,05$) и 12,7 % соответственно. В группе, получавшей комбинацию добавок, отмечена положительная динамика, по сравнению с контрольной группой, на 12,81 %. Анализ межгрупповых различий показал, что живая масса в III группе была на 10,5 % и 10,6 % выше, чем во II и I группах соответственно.

В возрасте 28 дней живая масса увеличилась в группах, получавших Целлобактерин-Т и комбинацию добавок, на 1,57 и 2,57 % соответственно, но снизилась в группе, получавшей конопляный жмых, на 11,04 % ($p < 0,01$), по сравнению с контрольной

группой. Среди различий между опытными группами следует отметить: высокую живую массу в III (по сравнению с I – на 1,00 %; по сравнению со II – на 15,3 % ($p < 0,05$)) и I группе (по сравнению со II – на 14,2 %).

Аналогичная тенденция сохранилась и в возрасте 35 дней: в группах, получавших Целлобактерин-Т и комбинацию добавок, масса увеличилась более чем на 8,00 % ($p < 0,05$), но в группе, получавшей конопляный жмых, снизилась на 2,31 %, по сравнению с контрольной группой. В то же время анализ прироста живой массы за неделю выявил следующие межгрупповые различия: прирост в I группе был выше, чем во II, на 11,3 %, а в III – на 0,03 %. Разница между приростом в III и II группах составила 11,1 %.

К концу эксперимента (42-й день) во всех опытных группах наблюдали увеличение живой массы на 4,19, 4,76 и 12,9 % ($p < 0,01$), по сравнению с контрольной группой. Анализ межгрупповых различий показал, что прирост живой массы в III группе был статистически значимо выше, чем в I и II группах, на 8,3 % и 7,7 % соответственно. Разница между приростом живой массы во II и I группах была незначительной и составляла 0,6 %.

В целом результаты свидетельствуют о положительном влиянии Целлобактерина-Т, конопляного жмыха и их комбинации на продуктивные показатели цыплят-бройлеров. Наиболее выраженный эффект наблюдали при использовании комбинации Целлобактерина-Т и конопляного жмыха, что выражается в увеличении живой массы, снижении расхода корма и повышении ЕИП.

Химический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров показывает различные уровни содержания влаги, жира и золы в зависимости от рациона. Содержание влаги в грудных и бедренных мышцах во всех группах в целом составляло от 72,8 % до 77,0 %. Содержание сухого вещества, которое остаётся после учёта влаги, в основном состоит из белка, жира и золы. Содержание белка, важного компонента мышечной ткани, варьировало от 18,6 % до 23,5 %. Содержание жира было более изменчиво и колебалось от 0,6 % до 5,5 %. Содержание золы, отражающее минеральный состав, оставалось относительно постоянным во всех группах и составляло 0,9 % (табл. 1).

Корректировка рациона повлияла на химический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров, особенно в грудной мышце. Включение пробиотика Целлобактерин-Т (группа I) привело к статистически значимому ($p < 0,05$) изменению соотношения белков и липидов в грудных мышцах, характеризующемуся снижением содержания белков на 1,9 %, и увеличением содержания липидов на 0,8 % ($p < 0,05$), по сравнению с контрольной группой. И наоборот, диетическая добавка с конопляным жмыхом (группа II) вызвала обратную реакцию в мышцах груди, приводя к увеличению концентрации белка на 1,3 % ($p < 0,05$) и соответствующим

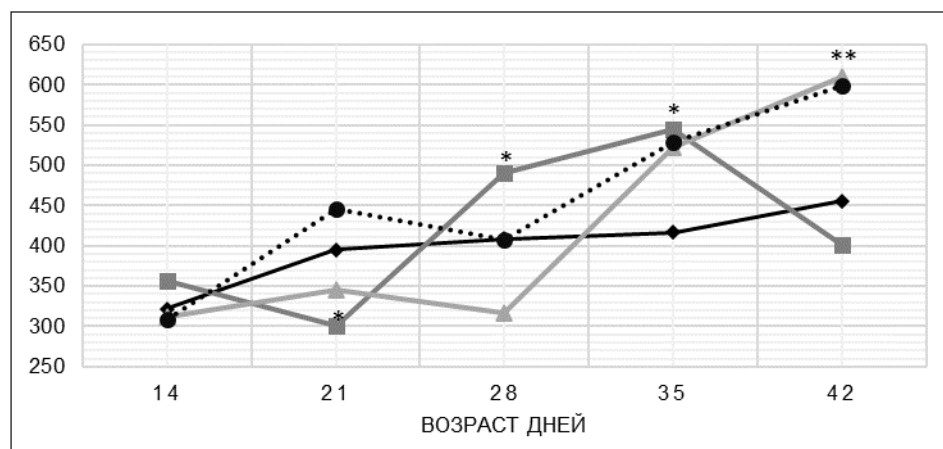


Рисунок. Абсолютный прирост живой массы цыплят-бройлеров: — ромб — контроль, — квадрат — I опытная, — треугольник — II опытная, — кружок — III опытная (*различия с контрольной группой достоверны при уровне значимости $p < 0,05$, **при $p < 0,01$).

Таблица 1. Химический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров, %

Группа	Влага	Сухое вещество	Белок	Жир	Зола
Грудная мышечная ткань					
Контроль	75,70±2,97	24,30±1,02	22,20±0,31	1,00±0,06	0,90±0,06
I опытная	76,70±3,61	23,20±1,07	20,30±0,45*	1,80±0,15** ^{AB}	0,90±0,01
II опытная	74,80±3,32	25,10±0,75	23,50±0,40* ^C	0,60±0,06**	0,90±0,02
III опытная	75,50±4,33	24,40±0,70	22,30±0,88	1,10±0,06 ^A	0,90±0,03
Бедренная мышечная ткань					
Контроль	74,40±2,87	24,50±0,61	19,40±0,55	4,10±0,49	0,90±0,07
I опытная	72,80±2,74	27,10±0,35* ^{AB}	20,60±0,73	5,50±1,01	0,90±0,08
II опытная	77,00±1,15	22,90±0,34	18,60±0,55	3,30±0,69	0,90±0,06
III опытная	76,30±1,88	23,60±0,26	19,10±0,29	3,40±0,32	0,90±0,08

*различия с контрольной группой достоверны при уровне значимости $p < 0,05$, **при $p < 0,01$; ^{A, B, C} – различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$ соответственно со II, III и I группой.

щему снижению содержания жира на 0,4 % ($p < 0,05$), по сравнению с контрольной группой. Комбинированное применение Целлобактерина-Т и конопляного жмыха (группа III) смягчало эти индивидуальные эффекты препаратов. Хотя изменения наблюдали и в бедренной мышечной ткани, только увеличение содержания сухого вещества (на 2,6 %) в группе I имело статистическую значимость ($p < 0,05$), по сравнению с контрольной группой.

Среди опытных групп следует отметить более высокое содержание влаги в грудной мышечной ткани группы I, в сравнении с группой II и III (на 1,9 и 1,2 %); жира (на 1,2 ($p < 0,05$) и 0,7 % ($p < 0,05$)); более высокое содержание белка во II группе, в сравнении с I (на 3,2 % ($p < 0,05$)) и III (на 1,2 %). Группа III характеризовалась высоким содержанием жира ($p < 0,05$), в сравнении со II. В бедренных мышцах обнаружено более высокое содержание сухого вещества в группе I, в сравнении со II (на 4,2 % ($p < 0,05$)) и III (на 3,5 % ($p < 0,05$)) группами.

Полученные данные свидетельствуют о умеренном влиянии экспериментальных факторов на основные нутриентные компоненты мышечной ткани. Наиболее выраженные изменения наблюдали в опытной группе, получавшей пробиотический препарат, что может быть связано с его влиянием на переваримость питательных веществ корма [13]. Включение конопляного жмыха способствует повышению содержания белка в грудной мышце, что согласуется с данными о высоких биологических ценностях конопляного жмыха [14].

Введение в рацион цыплят-бройлеров исследуемых добавок оказало статистически значимое влияние на содержание макроэлементов в грудных мышцах. В группе, получавшей Целлобактерин-Т (500 мг/кг к основному рациону), наблюдали выраженное повышение концентрации Na на 25,6 % ($p < 0,01$) при одновременном снижении содержания Ca на 43,8 % ($p < 0,001$), Mg – на 9,1 %, P – на 5,8 % и K – на 0,60 %, по сравнению с контрольной группой. В группах, получавших конопляный жмых (10 % от рациона) и комбинацию конопляного жмыха и Целлобактерина-Т (500 мг/кг), наблюдали достоверное снижение содержания Ca на 24,7 % ($p < 0,01$) и 21,5 % ($p < 0,01$), а также снижение концентрации K на 0,5 % и 3,1 % соответственно. При этом

в группе, получавшей только конопляный жмых, было зафиксировано увеличение содержания Mg на 2,1 % и P на 0,2 %, сопровождавшееся снижением количества Na на 6,2 % и K на 0,5 %, относительно контрольной группы. В группе, получавшей комбинацию конопляного жмыха и Целлобактерина-Т, зафиксировано повышение уровня Na на 13,9 % при одновременном снижении концентрации Mg на 6,4 %, K – на 3,0 % и P на 3,8 %. Полученные данные о тенденции к увеличению содержания Mg в тканях птицы в опытных группах могут быть обусловлены его антагонистическим взаимодействием с Cd, что согласуется с литературными данными [15]. Анализ содержания макроэлементов в мышечной ткани выявил статистически значимо более высокое содержание Ca в грудных мышцах группы III, по сравнению с группами I и II (на 39,7 %; $p < 0,05$ и на 4,4 % соответственно). Аналогичную тенденцию наблюдали и в бедренных мышцах: содержание кальция в группе III было статистически значимо выше, чем в группах I и II (на 16,6 %; $p < 0,05$ и на 14,6 % соответственно).

Результаты анализа элементного состава бедренных мышц цыплят-бройлеров (табл. 2) демонстрируют существенные межгрупповые различия, что свидетельствует о значительном влиянии исследуемых кормовых добавок на минеральный обмен у птицы. Полученные данные имеют важное значение для понимания механизмов действия пробиотиков и растительных добавок на метаболизм микроэлементов в организме сельскохозяйственной птицы. В группах, получавших Целлобактерин-Т и комбинацию конопляного жмыха и Целлобактерина-Т, было отмечено достоверное увеличение содержания Na на 16,6 % ($p < 0,05$) и 18,9 % ($p < 0,05$) соответственно. Наблюдали повышение концентрации Ca: на 2,6 % в группе, получавшей Целлобактерин-Т, на 4,4 %

Таблица 2. Концентрация макроэлементов в грудных мышцах цыплят-бройлеров, мг/кг

Элемент	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Грудная мышечная ткань				
Na	1976,1±86,9	2481,0±79,4**	1855,5±72,4	2250,6±78,8
Mg	1171,9±52,7	1065,4±33,0	1196,2±52,6	1096,6±34,0
K	13938,1±627,2	13855,1±415,7	13870,4±610,3	13518,8±567,8
Ca	474,1±19,9	266,6±13,1***	356,8±12,5**	372,4±12,7** ^C
P	8918,9±383,5	8398,9±285,6	8938,4±437,9	8580,9±360,4
Бедренная мышечная ткань				
Na	2605,0±80,8	3038,7±109,4*	2762,9±107,8	3098,3±133,2*
Mg	829,9±38,2	823,8±25,5	843,1±35,4	855,2±38,5
K	10690,3±331,4	11063,7±398,3	10964,8±471,5	10956,5±536,9
Ca	290,9±9,0	298,5±9,3	303,8±10,6	348,2±14,3* ^{AC}
P	6925,4±270,1	6946,5±229,2	6850,9±321,9	7030,4±351,5

*различия с контрольной группой достоверны при уровне значимости $p < 0,01$, **при $p < 0,001$; ^{A, C} – различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$ соответственно со II и I группой.

в группе, получавшей конопляный жмых, и на 19,7 % ($p < 0,05$) в группе, получавшей комбинацию добавок. Значительное увеличение содержания Са в группе, получавшей комбинацию добавок, может свидетельствовать об активации метаболических процессов и потенциальном повышении стрессоустойчивости организма птицы. Концентрация Mg незначительно снизилась (на 0,7 %) в группе, получавшей Целлобактерин-Т, при этом во всех остальных опытных группах было зафиксировано увеличение содержания Mg на 1,6...3,0 %. Концентрация К во всех опытных группах превышала контрольные значения на 2,5...3,5 %. Содержание Р было выше в группах, получавших Целлобактерин-Т (на 0,3 %) и комбинацию добавок (на 1,5 %), и ниже (на 1,1 %) в группе, получавшей только конопляный жмых, по сравнению с контрольной группой.

Наблюдаемые изменения элементного состава могут быть обусловлены несколькими факторами. Во-первых, пробиотический препарат мог оказывать модулирующее влияние на процессы абсорбции и метаболизма минеральных веществ [16]. Во-вторых, специфический минеральный состав конопляного жмыха [17] мог способствовать изменению баланса микроэлементов. В-третьих, сорбционные свойства компонентов рациона [18] могли снижать биодоступность токсичных элементов.

Статистически значимые изменения микроэлементного состава грудных мышц наблюдали во всех опытных группах (табл. 3). В группе, получавшей Целлобактерин-Т (500 мг/кг к основному рациону), было отмечено достоверное увеличение содержания Fe на 44,5 % ($p < 0,01$), Ni в 2,0 раза ($p < 0,001$), Cu на 27,3 % ($p < 0,05$), Cr на 40,0 % ($p < 0,01$). Изменений в содержании В, Mn, Co, I, As не отмечали. При этом наблюдали незначительное снижение концентрации Zn на 2,1 % и более существенное снижение Se на 16,7 %.

В группе, получавшей конопляный жмых (10 % от рациона), было зарегистрировано повышение уровня

Со в 2,0 раза ($p < 0,001$), Ni на 33,3 % ($p < 0,001$), Cr в 1,4 раза ($p < 0,001$), В на 16,7 %, Fe на 6,2 %, Cu на 27,3 % и Se на 33,3 %, I – в 7,3 раза. Однако было выявлено снижение содержания Zn на 4,5 %.

В группе, получавшей комбинацию конопляного жмыха и Целлобактерина-Т (500 мг/кг), установлено увеличение концентрации Fe на 19,1 % ($p < 0,05$), Ni на 33,0 % ($p < 0,001$), Cu на 72,7 % ($p < 0,001$), В на 16,7 %, I на 33,3 %, Se на 50,0 % и Cr на 80,0 % ($p < 0,001$), при одновременном снижении Zn на 5,8 %.

Анализ содержания микроэлементов выявил следующие значимые межгрупповые различия: в грудной мышце наблюдали увеличение содержания Fe в группе I, по сравнению с группами II и III (на 36,0 %, $p < 0,05$ и на 21,3 %, $p < 0,05$ соответственно). Содержание Cu в грудной мышце было выше в группе III по сравнению с группами I и II (на 35,7 %, $p < 0,05$). Концентрация I в грудной мышце была статистически значимо выше в группе II, по сравнению с группами I и III ($p < 0,05$), в 7,3 и 5,5 раз соответственно.

В бедренной мышце было отмечено увеличение содержания Fe в группе I, по сравнению с группами II и III (на 45,0 %, $p < 0,05$ и на 27,9 %, $p < 0,05$ соответственно), а также Mn (на 33,3 и 14,3 %), Co (только по сравнению с группой II в 2 раза) и Zn (на 18,3 и 4,8 % соответственно). В группе III было обнаружено повышенное содержание Ni и Cr в бедренной мышце ($p < 0,05$).

Полученные изменения микроэлементного профиля имеют важное физиологическое значение. Увеличение содержания Cu способствует улучшению усвояемости Fe и активации фермента супероксиддисмутазы, в то время как Cr усиливает метаболизм моносахаридов и снижает уровень холестерина и триглицеридов в крови. Повышенное содержание Zn в тканях бедренных мышц, отмеченное в настоящем исследовании, согласуется с данными других авторов [19] и свидетельствует об улучшении усвоения Са и Fe. Изменения концентрации Na и К, вероятно,

связаны с их ключевой ролью в поддержании электролитного баланса, что подтверждается их влиянием на продуктивность животных, энергетический обмен и экспрессию генов [20]. Увеличение содержания Mn может быть обусловлено активацией Mn-зависимой супероксиддисмутазы, тогда как повышение уровня Se и I в мышечной ткани связано с улучшением их биодоступности и положительным влиянием на сердечно-сосудистую и нервную системы, что было ранее продемонстрировано в исследованиях [21].

Анализ содержания токсичных элементов в грудной мышце выявил статистически значимые изменения во всех опытных группах (табл. 4). В группе, получавшей

Таблица 3. Концентрация эссенциальных и условно-эссенциальных элементов в грудных мышцах цыплят-бройлеров, мг/кг

Элемент	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Грудная мышечная ткань				
B	1,8±0,1	1,8±0,1	2,1±0,1	2,1±0,1
Fe	20,9±0,7	30,2±1,3 ^{AB}	22,2±0,8	24,9±0,7*
Mn	0,60±0,02	0,60±0,02	0,60±0,02	0,60±0,02
Co	0,010±0,001	0,010±0,001	0,020±0,001 ^{***}	0,010±0,001
Ni	0,30±0,01	0,60±0,02 ^{***}	0,40±0,01 ^{***}	0,40±0,01 ^{***}
Cu	1,10±0,05	1,40±0,08*	1,40±0,1	1,9±0,1 ^{**AC}
Zn	24,3±0,9	23,8±1,0	23,2±0,9	22,9±0,9
Cr	0,50±0,03	0,70±0,02 ^{**}	1,1±0,1 ^{***}	0,90±0,03 ^{***}
I	0,30±0,02	0,30±0,02	2,2±0,1 ^{***BC}	0,40±0,02
As	0,020±0,002	0,020±0,001	0,020±0,001	0,020±0,003
Se	0,60±0,31	0,5±0,2	0,8±0,3	0,9±0,1
Бедренная мышечная ткань				
B	1,4±0,1	1,30±0,04	1,60±0,13	1,5±0,1
Fe	32,2±3,0	40,3±1,6 ^{AB}	27,8±1,25	31,5±1,2
Mn	0,70±0,02	0,80±0,02 ^{AB}	0,60±0,02	0,70±0,02
Co	0,020±0,001	0,020±0,002 ^A	0,010±0,002 ^{**}	0,020±0,002
Ni	0,30±0,01	0,30±0,01 ^{**}	0,30±0,02	0,50±0,03 ^{***AC}
Cu	2,7±0,1	2,1±0,1 ^{**}	2,5±0,1 ^{BC}	2,01±0,1 ^{**}
Zn	51,9±4,8	59,4±1,8 ^{***}	50,2±2,7 ^{***}	56,7±1,7 ^{***}
Cr	0,70±0,03	0,90±0,1*	0,70±0,03	1,20±0,04 ^{***AC}
I	0,20±0,01	0,30±0,02	0,40±0,02 ^{**}	0,30±0,03
As	0,030±0,002	0,020±0,002*	0,020±0,003*	0,02±0,01
Se	0,90±0,05	0,6±0,1 ^{**}	0,8±0,3 ^{BC}	0,6±0,2

*различия с контрольной группой достоверны при уровне значимости $p < 0,05$, **при $p < 0,01$; ^{A, B, C} – различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$ соответственно со II, III и I группой.

Таблица 4. Концентрация токсичных элементов в грудных мышцах цыплят-бройлеров, мг/кг

Элемент	Контроль	I опытная	II опытная	III опытная
Грудная мышечная ткань				
Sr	0,30±0,02	0,20±0,01**	0,30±0,01 ^c	0,30±0,01* ^c
Cd	0,0100±0,0002	0,010±0,001***	0,010±0,001**	0,003±0,001
Pb	0,020±0,002	0,020±0,002	0,020±0,001	0,020±0,001
Al	33,9±4,4	21,7±0,9*** ^B	20,4±0,7***	16,3±0,6***
Бедренная мышечная ткань				
Sr	0,20±0,01	0,20±0,02	0,30±0,02*	0,3±0,1
Cd	0,100±0,002	0,010±0,001***	0,010±0,001***	0,010±0,001***
Pb	0,100±0,003	0,0400±0,0035	0,020±0,002**	0,020±0,001**
Al	20,7±0,8	11,0±0,3***	10,1±0,4***	10,5±0,3***

*различия с контрольной группой достоверны при уровне значимости $p < 0,05$, **при $p < 0,01$; A, B, C – различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$ соответственно со II, III и I группой.

Целлобактерин-Т (500 мг/кг к основному рациону), наблюдали достоверное снижение концентрации Sr на 33,3 % ($p < 0,01$) и Al на 36,0 % ($p < 0,001$). В группе, получавшей конопляный жмых (10 % от рациона) содержание Al уменьшилось на 39,8 % ($p < 0,01$). Снижение концентрации Cd в группе, получавшей комбинацию конопляного жмыха и Целлобактерина-Т (500 мг/кг) достигало 70,0 %, Al – 51,9 %, по сравнению с контрольной группой.

Полученные результаты согласуются с данными других исследований [22], где отмечено, что уменьшение содержания Cd в тканях коррелирует с улучшением минерального обмена в костной ткани.

Анализ содержания токсичных элементов в бедренных мышцах выявил значительное снижение концентрации Cd во всех опытных группах на 90,0 % ($p < 0,001$) (см. табл. 4). Достоверное снижение содержания Al было зарегистрировано во всех опытных группах: на 46,9 % ($p < 0,001$) в группе, получавшей Целлобактерин-Т, на 51,2 % ($p < 0,001$) в группе, получавшей конопляный жмых, и на 49,3 % ($p < 0,001$) в группе, получавшей комбинацию добавок, по сравнению с контрольными значениями. Этот факт может свидетельствовать о снижении уровня окислительного стресса в организме птицы. В группах, получавшей конопляный жмых отдельно и в комбинации с пробиотиком, отмечено статистически значимое увеличение концентрации Sr на 50,0 % ($p < 0,05$). В бедренной мышечной ткани содержание Pb, относительно контроля, снизилось на 60,0...80,0 % ($p < 0,01$) в опытных группах. Снижение уровня свинца оказывает положительное физиологическое воздействие, поскольку свинец способен взаимодействовать с белками, ответственными за нейтрализацию свободных радикалов, тем самым ослабляя антиоксидантную защиту организма. Полученные данные позволяют предположить, что включение в рацион цыплят-бройлеров конопляного жмыха и Целлобактерина-Т способствует снижению токсической нагрузки на печень.

Полученные данные согласуются с результатами других исследований [23], где отмечено, что повышение уровня кальция и фосфора способствует снижению накопления свинца в тканях, что наблюдали и в нашем эксперименте. Этот эффект может быть обусловлен активацией синтеза фермента 1- α -гидроксилазы, участвующего в минеральном обмене. Снижение содержания токсичных элементов (Al, Pb) в мышечной ткани свидетельствует о положительном влиянии применяемых кормовых добавок на минеральный метаболизм и антиоксидантный статус организма птицы.

Наблюдаемые эффекты согласуются с существующими исследованиями, демонстрирующими влияние диетических добавок на биодоступность минералов и их метаболизм у домашней птицы. В частности, наши результаты подтверждают исследования Zhu M. [22], в которых подчеркнуто влияние пробиотиков на биодоступность микроэлементов. В поддержку этой идеи Wang

Y. et al. [24] задокументировали способность пробиотических препаратов модулировать минеральный обмен в тканях птиц. Влияние растительных компонентов на усвоение микроэлементов подтверждено работой Xiaoyan N. et al. [25].

Выводы. Включение в рацион цыплят-бройлеров Целлобактерина-Т, конопляного жмыха и их комбинации оказывает положительное влияние на продуктивность и качество мяса. Наиболее выраженной воздействием на увеличение живой массы птиц происходит при использовании сочетания Целлобактерина-Т и конопляного жмыха (группа III), на фоне которого к концу эксперимента прирост, по сравнению с контрольной группой, составил 12,9 % ($p < 0,01$).

Комбинированное влияние изучаемых факторов (III опытная группа) обеспечивает наиболее сбалансированные изменения химического и минерального состава мышечной ткани цыплят-бройлеров, снижает содержание токсичных элементов и оптимизирует нутриентный профиль мяса. В частности, применение комбинации добавок повысило содержание Na в бедренной мышце, по сравнению контролем, на 18,9 %, Ca – на 19,7 %.

Во всех опытных группах отмечено значительное снижение содержания токсичных элементов в бедренных мышцах, включая кадмий (на 90,0 %, $p < 0,001$) и алюминий (на 46,9...51,2 %, $p < 0,001$), что свидетельствует о снижении токсической нагрузки на печень и улучшении минерального обмена у птицы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» с планом НИР FNWZ-2024-0002. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования выполнялись в соответствии с «Позицией по этике использования животных», протокол № 1 ФНЦ БСТ РАН от 24.02.2023 г. (The Guide for the Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить количество используемых образцов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Левахин Г. И., Айрих В. А., Дускаев Г. К. Главное внимание созданию устойчивой кормовой базы // Молочное и мясное скотоводство. 2005. № 6. С. 27–29.
2. Duskaev G. K., Kvan O. V., Rakhmatullin S. G. *Eucalyptus viminalis* leaf extract alters the productivity and blood parameters of healthy broiler chickens // Veterinary World. 2020. Vol. 13. No. 12. P. 2673–2680. doi: 10.14202/vet-world.2020.2673-2680.
3. Evaluation of the impact of plant extracts in different concentrations on the ecosystem of broilers' intestine / E. Yau-sheva, D. Kosyan, G. Duskaev, et al. // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2019. Vol. 9. No. 4. P. 4168–4171. doi: 10.33263/BRIAC94.168171.
4. Использование пробиотиков и растительных экстрактов для улучшения продуктивности жвачных животных (обзор) / Г. К. Дускаев, Г. И. Левахин, В. Л. Королёв и др. // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. № 1. С. 136–148. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-136.
5. Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) cake as sustainable dietary additive in slow-growing broilers: effects on performance, meat quality, oxidative stability and gut health / V. Tufarelli, C. Losacco, L. Tedone, et al. // Vet Q. 2023. Vol. 43. No. 1. P. 1–12. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/01652176.2023.2260448?scroll=top> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.1080/01652176.2023.2260448.
6. Effect of dietary supplementation of hemp (*Cannabis sativa*) and dill seed (*Anethum graveolens*) on performance, serum biochemicals and gut health of broiler chickens / M. M. Vispute, D. Sharma, A. B. Mandal, et al. // J Anim Physiol Anim Nutr. 2019. Vol. 103. No. 2. P. 525–533. doi: 10.1111/jpn.13052.
7. Effects of hempseed (*Cannabis sativa* L.) in diet on growth, gut health, and immunity in broilers / B. Sana, N. Chand, S. Naz, et al. // Vet Q. 2024. Vol. 44. No. 1. P. 1–10. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01652176.2024.2367214> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.1080/01652176.2024.2367214.
8. Immunostimulatory and antibacterial effects of *Cannabis sativa* L. leaves on broilers / M. Balenovic, Z. Janjecic, V. Savic, et al. // Animals (Basel). 2024. Vol. 14. No. 8. Article 1159. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/14/8/1159> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.3390/ani14081159.
9. Stastnik O., Pavlata L., Mrkvicova E. The milk thistle seed cakes and hempseed cakes are potential feed for poultry // Animals (Basel). 2020. Vol. 10. No. 8. Article 1384. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/10/8/1384> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.3390/ani10081384.
10. Dietary supplementation of *Cannabis sativa* residues in broiler chickens affects performance, carcass characteristics, intestinal morphology, blood biochemistry profile and oxidative stability / Y. Sopian, A. Sartsook, C. Arjin, et al. // Poult Sci. 2024. Vol. 103. No. 10. Article 104117. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579124006965> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.1016/j.psj.2024.104117.
11. Review: Nutritional aspects of hemp-based products and their effects on health and performance of monogastric animals / D. Lanzoni, E. Skrivanova, L. Pinotti, et al. // Animal. 2024. Vol. 18. No. 2. Article 101058. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731123003750> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.1016/j.animal.2023.101058.
12. Грицинская В. Л. Пробиотики: классификация, основные характеристики, требования к пробиотическим штаммам и сфера их применения // Children's medicine of the North-West. 2022. Т. 10. № 3. С. 12–20.
13. Effect of probiotics on the meat quality and muscle composition of broiler chickens / Y. Wang, J. Sun, H. Zhong, et al. // Poultry Science. 2022. Vol. 101. No. 5. P. 1–12. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003257912011073> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.1016/j.psj.2022.101672.
14. Егоров И. А., Манукян В. А., Ленкова Т. Н. Использование нетрадиционных кормов в птицеводстве // Птицеводство. 2020. № 9. С. 31–35.
15. Antagonism between cadmium and magnesium: A possible role of magnesium in therapy of cadmium intoxication / V. Matovic, Z. Plamenac Bulat, D. Djukic-Cosic, et al. // Magnes Res. 2010. Vol. 23. No. 1. P. 19–26. doi: 10.1684/mrh.2010.0196.
16. Кононенко С. И., Юрина Н. А. Конопляный жмых как источник минеральных веществ в кормлении птицы // Сборник научных трудов КНЦЗВ. 2022. Т. 11. № 2. С. 158–163.
17. Anderson R. C., Dalovic I., Peters S. O. Mineral metabolism and toxic elements in poultry: Modern approaches and perspectives // World's Poultry Science Journal. 2023. Vol. 79. No. 2. P. 251–267.
18. Effects of major families of modulators on performances and gastrointestinal microbiota of poultry, pigs and ruminants: A systematic approach / C. Payen, A. Kerouanton, J. Novoa, et al. // Microorganisms. 2023. Vol. 11. No. 6. Article 1464. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/6/1464> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.3390/microorganisms11061464.
19. Effect of zinc level and source (zinc oxide vs. zinc glycine) on bone mechanical and geometric parameters, and histomorphology in male Ross 308 broiler chicken / E. Tomaszewska, S. Muszynski, P. Dobrowolski, et al. // Rev. Bras. Cienc. Avic. 2017. Vol. 19. No. 1. P. 159–170. doi: 10.1590/1806-9061-2016-0285.
20. Effects of dietary electrolyte balance on performance, energy balance, and expression of genes related to acid-base balance, absorption, and transport of nutrients in broilers / C. A. Andre, A. Renan, D. Leilane, et al. // Tropical Animal Health and Production. 2022. Vol. 54. P. 1–12. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-022-03165-z> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.1007/s11250-022-03165-z.
21. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health – a comprehensive review / M. Alagawany, S. S. Elnesr, M. R. Farag, et al. // Veterinary Quarterly. 2020. Vol. 41. No. 1. P. 1–29. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01652176.2020.1857887#> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.1080/01652176.2020.1857887.
22. Dietary cadmium chloride supplementation impairs renal function and bone metabolism of laying hens / M. Zhu, W. Zhou, L. Bai, et al. // Animals. 2019. Vol. 9. No. 11. Article 998. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/9/11/998> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.3390/ani9110998.
23. The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue / Z. Ciosek, K. Kot, D. Kosik-Bogacka, et al. // Biomolecules. 2021. Vol. 11. No. 4. Article 506. URL: <https://www.mdpi.com/2218-273X/11/4/506> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.3390/biom11040506.
24. Effects of probiotic supplementation on mineral metabolism and meat quality in broilers / Y. Wang, A. Li, X. Jiang, et al. // Poultry Science. 2022. Vol. 101. No. 4. Article 101675. URL: <https://www.gjournals.org/2022/06/16/053022059-edeae-et-al/> (дата обращения: 12.02.2025).
25. The potential of supplementing compound organic trace elements at lower levels in Chinese yellow-feathered broiler diets, Part I: Impacts on plasma biochemical parameters, antioxidant capacity, carcass traits, meat quality, and tissue mineral deposition / N. Xiaoyan, Y. Yucheng, L. Qi, et al. // Animal Feed Science and Technology. 2025. Vol. 104. No. 1. Article 104580. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579124011581> (дата обращения: 12.02.2025). doi: 10.1016/j.psj.2024.104580.

References

1. Levakhin GI, Airikh VA, Duskaev GK. [The main focus is on creating a sustainable food base]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2005;(6):27-9. Russian.
2. Duskaev GK, Kvan OV, Rakhmatullin SG. *Eucalyptus viminalis* leaf extract alters the productivity and blood parameters of healthy broiler chickens. *Veterinary World*. 2020;13(12):2673-80. doi: 10.14202/vetworld.2020.2673-2680.
3. Yausheva E, Kosyan D, Duskaev G, et al. Evaluation of the impact of plant extracts in different concentrations on the ecosystem of broilers' intestine. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2019;9(4):4168-71. doi: 10.33263/BRIAC94.168171.
4. Duskaev GK, Levakhin GI, Korolev VL, et al. [Use of probiotics and plant extracts to improve ruminant performance (review)]. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*. 2019;102(1):136-48. Russian. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-136.
5. Tufarelli V, Losacco C, Tedone L, et al. Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) cake as sustainable dietary additive in slow-growing broilers: effects on performance, meat quality, oxidative stability and gut health. *Vet Q [Internet]*. 2023 [cited 2025 Feb 12];43(1):1-12. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/01652176.2023.2260448?scroll=t> op. doi: 10.1080/01652176.2023.2260448.
6. Vispute MM, Sharma D, Mandal AB, et al. Effect of dietary supplementation of hemp (*Cannabis sativa*) and dill seed (*Anethum graveolens*) on performance, serum biochemicals and gut health of broiler chickens. *J Anim Physiol Anim Nutr*. 2019;103(2):525-33. doi: 10.1111/jpn.13052.
7. Sana B, Chand N, Naz S, et al. Effects of hempseed (*Cannabis sativa* L.) in diet on growth, gut health, and immunity in broilers. *Vet Q [Internet]*. 2024 [cited 2025 Feb 12];44(1):1-10. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01652176.2024.2367214>. doi: 10.1080/01652176.2024.2367214.
8. Balenovic M, Janjecic Z, Savic V, et al. Immunostimulatory and antibacterial effects of *Cannabis sativa* L. leaves on broilers. *Animals (Basel) [Internet]*. 2024 [cited 2025 Feb 12];14(8): Article 1159. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2615/14/8/1159>. doi: 10.3390/ani14081159.
9. Stastnik O, Pavlata L, Mrkvicova E. The milk thistle seed cakes and hempseed cakes are potential feed for poultry. *Animals (Basel) [Internet]*. 2020 [cited 2025 Feb 12];10(8): Article 1384. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2615/10/8/1384>. doi: 10.3390/ani10081384.
10. Sopian Y, Sartsook A, Arjin C, et al. Dietary supplementation of *Cannabis sativa* residues in broiler chickens affects performance, carcass characteristics, intestinal morphology, blood biochemistry profile and oxidative stability. *Poult Sci [Internet]*. 2024 [cited 2025 Feb 12];103(10): Article 104117. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579124006965>. doi: 10.1016/j.psj.2024.104117.
11. Lanzoni D, Skrivanova E, Pinotti L, et al. Review: Nutritional aspects of hemp-based products and their effects on health and performance of monogastric animals. *Animal [Internet]*. 2024 [cited 2025 Feb 12];18(2): Article 101058. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731123003750>. doi: 10.1016/j.animal.2023.101058.
12. Gritsinskaya VL. [Probiotics: Classification, main characteristics, requirements for probiotic strains and their application]. *Children's medicine of the North-West*. 2022;10(3):12-20. Russian.
13. Wang Y, Sun J, Zhong H, et al. Effect of probiotics on the meat quality and muscle composition of broiler chickens. *Poultry Science [Internet]*. 2022 [cited 2025 Feb 12];101(5):1-12. Available from: <https://www.sciencegate.app/document/10.1016/j.psj.2020.11.073>. doi: 10.1016/j.psj.2022.101672.
14. Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN. [Use of non-traditional feeds in poultry farming]. *Ptitsevodstvo*. 2020;(9):31-5. Russian.
15. Matovic V, Plamenac Bulat Z, Djukic-Cosic D, et al. Antagonism between cadmium and magnesium: A possible role of magnesium in therapy of cadmium intoxication. *Magnes Res*. 2010;23(1):19-26. doi: 10.1684/mrh.2010.0196.
16. Kononenko SI, Yurina NA. [Hemp cake as a source of minerals in poultry feeding]. *Sbornik nauchnykh trudov KNTsZV*. 2022;11(2):158-63. Russian.
17. Anderson RC, Dalovic I, Peters SO. Mineral metabolism and toxic elements in poultry: Modern approaches and perspectives. *World's Poultry Science Journal*. 2023;79(2):251-67.
18. Payen C, Kerouanton A, Novoa J, et al. Effects of major families of modulators on performances and gastrointestinal microbiota of poultry, pigs and ruminants: A systematic approach. *Microorganisms [Internet]*. 2023 [cited 2025 Feb 12];11(6): Article 1464. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/6/1464>. doi: 10.3390/microorganisms11061464.
19. Tomaszewska E, Muszynski S, Dobrowolski P, et al. Effect of zinc level and source (zinc oxide vs. zinc glycine) on bone mechanical and geometric parameters, and histomorphology in male Ross 308 broiler chicken. *Rev. Bras. Cienc. Avic*. 2017;19(1):159-70. doi: 10.1590/1806-9061-2016-0285.
20. Andre CA, Renan A, Leilane D, et al. Effects of dietary electrolyte balance on performance, energy balance, and expression of genes related to acid basic balance, absorption, and transport of nutrients in broilers. *Tropical Animal Health and Production [Internet]*. 2022 [cited 2025 Feb 12];54:1-12. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-022-03165-z>. doi: 10.1007/s11250-022-03165-z.
21. Alagawany M, Elnesr SS, Farag MR, et al. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health – a comprehensive review. *Veterinary Quarterly [Internet]*. 2020 [cited 2025 Feb 12];41(1):1-29. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01652176.2020.1857887#>. doi: 10.1080/01652176.2020.1857887.
22. Zhu M, Zhou W, Bai L, et al. Dietary cadmium chloride supplementation impairs renal function and bone metabolism of laying hens. *Animals [Internet]*. 2019 [cited 2025 Feb 12];9(11): Article 998. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2615/9/11/998>. doi: 10.3390/ani9110998.
23. Ciosek Z, Kot K, Kosik-Bogacka D, et al. The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue. *Biomolecules [Internet]*. 2021 [cited 2025 Feb 12];11(4): Article 506. Available from: <https://www.mdpi.com/2218-273X/11/4/506>. doi: 10.3390/biom11040506.
24. Wang Y, Li A, Jiang X, et al. Effects of probiotic supplementation on mineral metabolism and meat quality in broilers. *Poultry Science [Internet]*. 2022 [cited 2025 Feb 12];101(4): Article 101675. Available from: <https://www.gjournals.org/2022/06/16/053022059-edea-et-al/>.
25. Xiaoyan N, Yucheng Y, Qi L, et al. The potential of supplementing compound organic trace elements at lower levels in Chinese yellow-feathered broiler diets, Part I: Impacts on plasma biochemical parameters, antioxidant capacity, carcass traits, meat quality, and tissue mineral deposition. *Animal Feed Science and Technology [Internet]*. 2025 [cited 2025 Feb 12];104(1): Article 104580. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579124011581>. doi: 10.1016/j.psj.2024.104580.

Поступила в редакцию 10.03.2025 После доработки 28.03.2025 Принята к публикации 30.04.2025