



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-3-477-489

УДК 636.5.033

EDN CGWRPG

Научная статья / Research article

Оценка влияния природного органического вещества на химический состав тушки цыплят-бройлеров

Г.К. Дускаев  , О.В. Кван , Я.А. Сизенцов ,
М.Я. Курилкина , Б.С. Нуржанов 

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация

 gdukaev@mail.ru

Аннотация. Интенсивно развивающаяся отрасль птицеводства требует постоянного поиска новых методических подходов для увеличения не только количества, но и качества готовой продукции. На фоне запрета использования кормовых антибиотиков проводится все больше исследований, направленных на использование различных стимуляторов роста растительного происхождения. Проведен системный анализ влияния введения в корм ванилина в концентрациях 0,25 мг/кг основного рациона (I опытная группа), 0,50 мг/кг (II опытная группа) и 0,75 мг/кг (III опытная группа). Степень влияния оценивали посредством еженедельного взвешивания (живая масса), определения химического состава, а также макро- и эссенциальных элементов. Совокупность полученных экспериментальных данных показала, что наиболее выраженная положительная динамика наблюдается на фоне применения концентрации ванилина 0,25 мг/кг корма, так как на заключительном этапе средние показатели конечной массы тела в соответствующей группе превышали контрольные значения на 22,16 % ($p < 0,05$). Показатели химического состава свидетельствуют о максимальном уровне протеина и зольного остатка на фоне минимальных значений воды и жира в исследуемых биологических образцах. Исследуемые показатели элементного статуса также свидетельствуют о положительном влиянии данной концентрации на процент накопления с максимальными значениями содержания кальция, натрия и цинка. Результаты исследования позволяют с высокой долей уверенности рекомендовать ванилин в дозе 0,25 мг/кг основного рациона в качестве эффективной кормовой добавки.

Ключевые слова: ванилин, кросс Арбор Айкрес, эссенциальные элементы, живая масса, качество мяса

Вклад авторов: Авторы в равной степени внесли свой вклад в подготовке этого исследования и рукописи. Все авторы прочитали опубликованную версию рукописи и согласились с ней.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Дускаев Г.К., Кван О.В., Сизенцов Я.А., Курилкина М.Я., Нуржанов Б.С., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00036, <https://rscf.ru/project/22-16-00036>

История статьи: поступила в редакцию 18.04.2024; принята к печати 18.06.2024.

Для цитирования: Дускаев Г.К., Кван О.В., Сизенцов Я.А., Курилкина М.Я., Нуржанов Б.С. Оценка влияния природного органического вещества на химический состав тушки цыплят-бройлеров // Вестник российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 3. С. 477–489. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-3-477-489

Influence of natural organic matter on chemical composition of broiler chicken carcass

Galimzhan K. Duskaev  , Olga V. Kvan , Yaroslav A. Sizentsov ,
Marina Y. Kurilkina , Bayer S. Nurzhanov 

Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation
 gduskaev@mail.ru

Abstract. Intensively developing poultry industry requires a constant search for new methodological approaches to increase not only quantity, but also quality of finished products. Due to the ban on the use of feed antibiotics, more and more research has been carried out aimed at the use of various growth stimulants of plant origin. In our research, a systematic analysis of the effect of vanillin at concentrations of 0.25 mg/kg of the main diet (group 1), 0.50 mg/kg (group 2) and 0.75 mg/kg (group 3) was carried out. The degree of influence was assessed by means of weekly weighing (live weight), determination of chemical composition, macro- and essential elements. The experimental data obtained showed that of all the concentrations of vanillin used, the most pronounced positive dynamics was observed after the use of 0.25 mg/kg of feed, since at the final stage average indicators of the final body weight in this group exceeded the control values by 22.16% ($p < 0.05$). Indicators of chemical composition indicated the maximum level of protein and ash residue against the background of the minimum values of water and fat in the studied biological samples. The studied indicators of the elemental status also indicated a positive effect of this concentration on percentage of accumulation with the maximum values of calcium, sodium and zinc. Therefore, vanillin at a dose of 0.25 mg/kg of the main diet can be recommended as an effective feed additive.

Keywords: vanillin, Arbor Acres cross, essential elements, live weight, meat quality

Author contributions. All authors contributed equally to this manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Funding. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-16-00036, <https://rscf.ru/project/22-16-00036>

Article history: Received: 18 April 2024. Accepted: 18 June 2024.

For citation: Duskaev GK, Kvan OV, Sizentsov YA, Kurilkina MY, Nurzhanov BS. Influence of natural organic matter on chemical composition of broiler chicken carcass. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(3):477–489. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-3-477-489

Введение

Раннее использование антибиотиков для стимулирования роста домашней птицы и управления микробиотой кишечника было нормой. Однако из-за опасений по поводу потенциального фатального воздействия на пищевых животных и косвенно на людей их использование в качестве кормовых добавок запрещено или регулируется в нескольких юрисдикциях [1].

В связи с выходом новых нормативных актов по контролю за качеством получаемой продукции, на птицефабриках все реже применяют различные стимулирующие препараты, при этом возникла потребность в замене их на более безопасные и обладающими схожими эффектами [2]. В настоящее время птицеводство является ведущим сектором животноводства, потребляющим кормовые добавки, опережая свиней, жвачных животных и представителей аквакультуры. Наряду с традиционно применяемыми в кормлении птиц балансирующими компонентами используют различные органические кислоты, эфирные масла [3], растительные метаболиты [4], лечебные травы, неперевариваемые волокна [5] и биологически активные соединения фитогенетики [6].

Фитохимические вещества обеспечивают четыре основных механизма стимуляции, такие как улучшение состава корма, вкусовые качества, наличие антимикробной активности и повышение анаболической активности [7].

Многие фенольные соединения, обнаруженные в пищевых продуктах и лекарственных растениях, продемонстрировали интересный терапевтический потенциал и привлекли внимание фармацевтической промышленности как многообещающие фармакологически активные соединения для укрепления здоровья и профилактики заболеваний [8]. Ванилин представляет собой фенольный альдегид и является вторым по популярности после шафрана ароматизатором, который широко используется в различных отраслях: в качестве пищевой добавки к продуктам питания и напиткам, маскирующего агента в фармацевтических препаратах и др. [9]. Ванилин получают путем естественной экстракции [10], химического синтеза или технологии культуры тканей, а также путем микробного синтеза [11, 12]. Ванилин обладает несколькими полезными свойствами для здоровья человека и животных, такими как антиоксидантная активность, в дополнение к противовоспалительным, антимуtagenным, антиметастатическим и антидепрессивным свойствам [13].

Ванилин активно исследуют в качестве фитохимического вещества с выраженным биологическим действием. В частности установлено, что ванилин усиливает регенерацию печени в модели повреждения ее, вызванного тиаоацетамидом [14], обладает мощным сосудорасширяющим эффектом [15], снижает гибель нейронов гиппокампа в крысиных моделях глобальной церебральной ишемии и улучшает двигательную функцию у мышей после ишемии и реперфузии [16], оказывает нейропротекторное действие при множественных неврологических расстройствах и нейропатологических состояниях [13, 17], оказывает обезболивающее и противовоспалительное действие в широком диапазоне моделей воспаления у мышей, а его механизмы действия включают антиоксидантные эффекты и связанное с транскрипционно ядерным фактором ингибирование продукции провоспалитель-

ных цитокинов [18], значительно увеличивает экспрессию арилуглеводородного рецептора (AhR), а ингибирование AhR его агонистом может обратить вспять защитное действие ванилина на индуцированное кадмием повреждение легких [19]. В современной литературе представлены данные, свидетельствующие о высоком потенциале использования ванилина в качестве ингибиторов патогенных и условно патогенных микроорганизмов. Так, например, ванилин и его производное (4-((E)-(4-гидрокси-2-метилфенилимино) метил)-2-метоксифенол (ММФ)) продемонстрировали явное ингибирование виолацеина и пиоцианина при субингибирующих концентрациях, что указывает на наличие анти-Quorum sensing (QS) эффекте обоих соединений. ММФ был способен ингибировать образование биопленки *Pseudomonas aeruginosa* при 125 мкг/мл ($p < 0,05$), в то время как ванилин при 250 мкг/мл ($p < 0,05$), что указывает на активность данных соединений в отношении биопленкообразования [20]. Также экспериментально установлена в отношении *Staphylococcus epidermidis* анти-QS активность ванилина, снижающего до 80 % уровень образования биопленки [21].

В области птицеводства ванилин используется в качестве кормовой добавки (фитобиотический препарат) как в чистом виде, так и в составе комбинированных соединений. Установлено, что данная добавка стимулирует ключевые иммунные клетки, делая их более функционально эффективными, и действует как иммуномодулятор для усиления неэффективной и неразвитой иммунной системы молодых цыплят [2], а также уменьшает воспаление, улучшает экспрессию белков плотных контактов и барьерную функцию кишечника и, таким образом, повышает эффективность корма [22].

Цель исследования — оценить степень влияния различных концентраций ванилина, применяемого в качестве кормовой добавки к стартовому и ростовому рациону, на степень усвоения физиологически значимых элементов в теле цыплят бройлеров.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнены на 100 головах семидневных цыплят-бройлеров (кросс Арбор Айкрес), разделенных на 4 группы с $n = 25$ каждая (табл. 1). Кормление и поение птицы осуществлялось групповым методом согласно рекомендациям ВНИТИП.

Таблица 1

Схема эксперимента

Группа цыплят-бройлеров	Основной рацион	Ванилин в концентрации, мг/кг		
		0,25	0,50	0,75
Контрольная	+			
I опытная	+	+		
II опытная	+		+	
III опытная	+			+

Методы исследования	
Определение динамики массы тела	Контроль массы тела проводили еженедельно путем индивидуального взвешивания утром, перед кормлением (± 1 г) в течение контрольного периода (35 дней)
Определение химического состава (мяса и мясопродуктов)	Анализ химического состава мяса и мясопродуктов проводился по стандартизированным методикам в независимой аккредитованном Испытательном центре ФНЦ БСТ РАН (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, субпродуктов)	Использовали метод атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии (АЭС-ИСП и МС-ИСП) на оборудовании Elan 9000 (Perkin Elmer, США) и Optima 2000 V (Perkin Elmer, США)
Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов и Guide for the Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были приняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов	

Статистическая обработка. Результаты, полученные в исследованиях, обрабатывали с помощью программного комплекса Statistica 12.0 (Stat Soft Inc., США). Для статистического анализа использовали параметрический *t*-критерий Стьюдента.

Результаты исследования и обсуждение

В экспериментальных исследованиях мы проводили комплексную оценку влияния различных концентраций ванилина на степень минерализации. Для реализации поставленной цели определяли химический состав туш (рис. 1), динамику роста (рис. 2) и содержание макро (табл. 2) и эссенциальных элементов (табл. 3) в тканях.

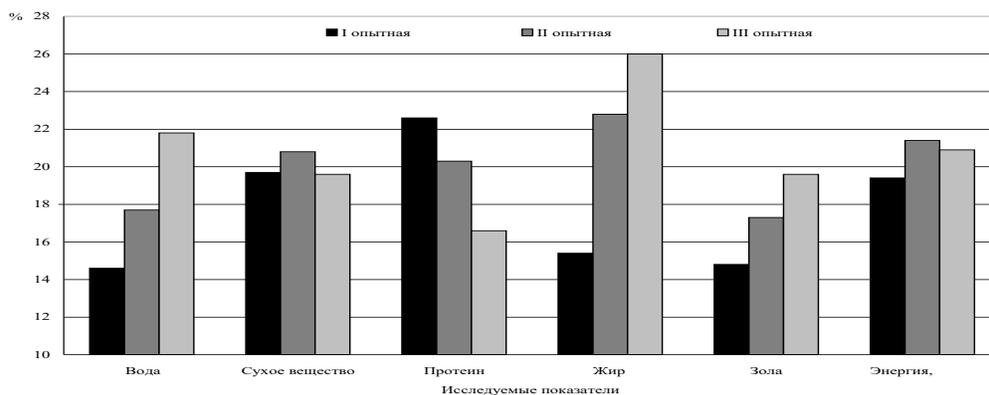


Рис. 1. Динамика изменения химического состава туш цыплят-бройлеров по отношению к интактной группе

Источник: выполнено Г.К. Дускаевым, О.В. Кван, Я.А. Сизенцовым, М.Я. Курилкиной, Б.С. Нуржановым с помощью программы Excel

Полученные данные (см. рис. 1) свидетельствуют о существенном влиянии тестируемых концентраций ванилина на химический состав туш цыплят-бройлеров, так как все исследуемые показатели значительно превышали аналогичные значения интактной группы. Следует отметить, что содержание воды, жира и золы напрямую зависит от концентрации вводимого в рацион ванилина ($p \leq 0,05$ в 1 и 3 группе), в то время как в отношении протеина установлена обратная зависимость, обусловленная снижением данного показателя на фоне увеличения концентрации ванилина в рационе. Максимальные показатели сухого вещества и энергии установлены в группе с добавлением ванилина в концентрации 0,50 мг/кг корма и превышали контрольные значения на 20,8% ($p \leq 0,05$) и 21,4% ($p \leq 0,05$) соответственно. Ванилин в концентрации 0,75 мг/кг основного рациона существенно снижает уровень протеина по отношению к другим опытным группам и превышает значения контроля на 16,6% ($p \leq 0,05$) против 22,6% ($p \leq 0,05$) и 20,3% ($p \leq 0,05$) в первой и второй экспериментальных группах. Противоположные данные получили зарубежные ученые в исследованиях по скормливанию смеси эфирных масел (тимола и ванилина), что приводило к снижению содержания внутримышечного жира у цыплят и общему улучшению профиля жирных кислот. Более того, пищевые добавки с эфирными маслами снижали окисление липидов в приготовленном мясе, в то время как наблюдались незначительные изменения цвета и липидной стабильности, а также микробной нагрузки в сыром мясе [23].

Исследование динамических показателей роста цыплят-бройлеров (рис. 2) свидетельствует о выраженном влиянии всех тестируемых концентраций на интенсивность роста по отношению к аналогичному показателю интактной группы.

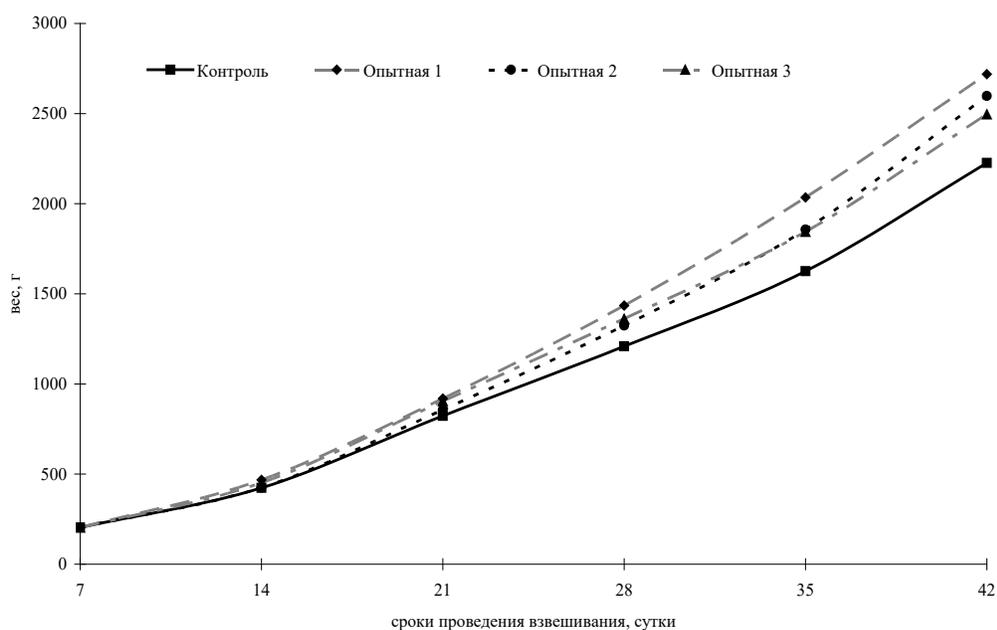


Рис. 2. Динамика роста цыплят-бройлеров

Источник: выполнено Г.К. Дускаевым, О.В. Кван, Я.А. Сизенцовым, М.Я. Курилкиной, Б.С. Нуржановым с помощью программы Excel

Представленные на графике (см. рис. 2) данные свидетельствуют о том, что максимальные показатели роста регистрируются в группе с использованием 0,25 мг ванилина/кг корма основного рациона начиная с 28 дня эксперимента, с положительной динамикой роста до завершения эксперимента ($p \leq 0,05$) по отношению к интактной группе. На заключительном этапе средние показатели конечной массы тела превышали контрольные значения на 22,16 % ($p \leq 0,05$) в первой, 16,71 % ($p \leq 0,05$) во второй и 12,14 % в третьей опытных группах. Обобщая полученные данные с результатами, приведенными на рис. 1, можно констатировать, что введение ванилина в дозе 0,25 мг/кг стимулирует увеличение мышечной массы. Схожие данные были получены Краузе М. и соавторами, так цыплята, получавшие масло корицы в количестве 0,25 мл/л, имели лучшие показатели роста, что было связано с благотворным влиянием препарата на микробиом тонкой кишки, обмен веществ [24]. Наши результаты также согласуются с исследованием, где обнаружено, что при кормлении рационом с ванилиновой кислотой (группа I и II) наблюдалось увеличение живой массы на протяжении всего эксперимента и значительное увеличение в конце эксперимента (на 8,2...8,5 %; $p \leq 0,05$) по сравнению с контрольной группой [25].

Анализ влияния ванилина на элементный состав включал определение ключевых макроэлементов (кальций, калий, магний, натрий) (табл. 2). Полученные данные свидетельствуют о высокой степени усвоения кальция в первой и второй опытных группах во всех исследуемых образцах с максимальным уровнем накопления на фоне применения добавки 0,25 мг ванилина/кг корма: на 13,48 % в грудной мышце ($p \leq 0,05$), 16,94 % — бедренной мышце ($p \leq 0,05$) и 10,50 % — печени ($p \leq 0,05$) по отношению к контрольным показателям.

Таблица 2

Сравнительный анализ влияния различных концентраций ванилина на содержания макроэлементов в тканях экспериментальной птицы и баланс усвоения из корма

Объекты исследования	Исследуемые элементы			
	Ca	K	Mg	Na
Показатели контрольной группы				
Грудная мышца	0,178 ± 0,0041	10,965 ± 0,2554	0,894 ± 0,0208	1,371 ± 0,0319
Бедренная мышца	0,183 ± 0,0017	10,144 ± 0,0926	0,775 ± 0,0071	1,994 ± 0,0182
Печень	0,200 ± 0,0018	0,200 ± 0,0018	0,620 ± 0,0057	2,604 ± 0,0238
Корм	8,682 ± 0,0424	5,647 ± 0,027	1,530 ± 0,0075	2,661 ± 0,0130
Помет	30,563 ± 0,1491	19,128 ± 0,0933	6,160 ± 0,0301	4,338 ± 0,0212
Баланс поступления	0,462 ± 0,0279	0,669 ± 0,0404	-0,298 ± 0,0180	2,606 ± 0,1574
Показатели опытной группы с добавлением ванилина 0,25 мг/кг корма				
Грудная мышца	0,202 ± 0,0030*	12,686 ± 0,1867*	0,982 ± 0,0145*	1,912 ± 0,0281*
Бедренная мышца	0,214 ± 0,0031*	9,404 ± 0,1384*	0,715 ± 0,0105*	2,167 ± 0,0319*
Печень	0,221 ± 0,0032*	0,221 ± 0,0032*	0,773 ± 0,0114*	3,131 ± 0,0461*
Корм	8,682 ± 0,0808	5,647 ± 0,0526	1,530 ± 0,0142	2,661 ± 0,0248
Помет	24,508 ± 0,2282*	19,873 ± 0,1850*	5,951 ± 0,0554*	6,908 ± 0,0643*
Баланс поступления	3,436 ± 0,1059*	0,176 ± 0,0054*	-0,250 ± 0,0077*	1,370 ± 0,0422*
Показатели опытной группы с добавлением ванилина 0,50 мг/кг корма				
Грудная мышца	0,195 ± 0,0033*	13,381 ± 0,2252*	1,075 ± 0,0181*	1,627 ± 0,0274*

Объекты исследования	Исследуемые элементы			
	Ca	K	Mg	Na
Бедренная мышца	0,207 ± 0,0035*	9,496 ± 0,1598*	0,750 ± 0,0126	1,738 ± 0,0293*
Печень	0,210 ± 0,0035*	0,210 ± 0,0035*	0,718 ± 0,0121*	2,975 ± 0,0501*
Корм	8,682 ± 0,0781	5,647 ± 0,0508	1,530 ± 0,0138	2,661 ± 0,0239
Помет	24,228 ± 0,2180*	20,488 ± 0,1843*	6,433 ± 0,0579*	6,431 ± 0,0579*
Баланс поступления	6,798 ± 0,3347*	2,203 ± 0,1085*	0,182 ± 0,0090*	2,552 ± 0,1256
Показатели опытной группы с добавлением ванилина 0,75 мг/кг корма				
Грудная мышца	0,169 ± 0,0022	12,105 ± 0,1563*	0,958 ± 0,0124*	1,572 ± 0,0203*
Бедренная мышца	0,187 ± 0,0024	8,354 ± 0,1079*	0,630 ± 0,0081*	1,706 ± 0,0220*
Печень	0,219 ± 0,0028*	0,219 ± 0,0028*	0,668 ± 0,0086*	3,495 ± 0,0451*
Корм	8,682 ± 0,0599	5,647 ± 0,0390	1,530 ± 0,0106	2,661 ± 0,0184
Помет	21,112 ± 0,1457*	19,108 ± 0,1319	6,148 ± 0,0424	6,585 ± 0,0454*
Баланс поступления	6,716 ± 0,5520*	1,938 ± 0,1593*	0,086 ± 0,0071*	2,008 ± 0,1651*

Примечание. * – $p \leq 0,05$.

Концентрация калия в печени и грудных мышцах возросла относительно контроля на 15,70 % в первой ($p \leq 0,05$), 22,03 % во второй ($p \leq 0,05$) и 10,40 % в третьей ($p \leq 0,05$) опытных группах, однако следует отметить отрицательный уровень накопления калия в бедренной мышце в экспериментальных группах на 7,30 % ($p \leq 0,05$), 6,39 % ($p \leq 0,05$) и 17,65 % ($p \leq 0,05$).

Уровень распределения магния в исследуемых образцах имеет схожую с калием зависимость, обусловленную более высокими показателями накопления в грудной мышце опытных группах на 9,84 % ($p \leq 0,05$), 20,25 % ($p \leq 0,05$) и 7,16 % ($p \leq 0,05$) на фоне снижения данного элемента в бедренной мышце на 7,74 % ($p \leq 0,05$), 3,23 и 18,71 % ($p \leq 0,05$) соответственно.

Степень распределения натрия в тканях имеет общую тенденцию с кальцием с максимальным уровнем накопления в первой опытной группе на 39,46 % в грудной ($p \leq 0,05$) и 8,68 % в бедренных мышцах ($p \leq 0,05$). Во второй и третьей группах содержание натрия демонстрировало увеличение содержания в грудной мышце на 18,67 % ($p \leq 0,05$) и 14,66 % ($p \leq 0,05$), на фоне снижения в бедренной мышце на 12,84 % ($p \leq 0,05$) и 14,44 % ($p \leq 0,05$) по отношению к показателям интактной группы соответственно.

Обобщая результаты влияния различных концентраций ванилина, используемого в качестве кормовой добавки, на уровень содержания макроэлементов в биологических образцах, следует отметить, что наиболее высокие показатели накопления двух из четырех элементов регистрируются в группе с применением 0,25 мг ванилина/кг корма. Несмотря на то, что концентрация калия и магния в данной группе была ниже показателей второй группы, все же превышала суммарные значения у интактной группы на 4,70 и 7,91 % соответственно.

Анализ распределения эссенциальных элементов (железо, медь, цинк, марганец (табл. 3) свидетельствует о значительном влиянии ванилина на степень их усвоения. Ранее сообщалось о похожих результатах, согласно которым включение в рацион 1 % базилика способствовало повышению в мясе цинка на 13,48 %, а в образцах с тимьяном и шалфеем — на 7,81 и 7,59 % относительно контроля. В бедренной части бройлеров также отмечалось незначительное повышение концентрации железа [26].

Сравнительный анализ влияния различных концентраций ванилина на содержание эссенциальных элементов в тканях экспериментальной птицы и баланс усвоения из корма

Объекты исследования	Исследуемые элементы			
	Fe	Cu	Zn	Mn
Показатели контрольной группы				
Грудная мышца	0,292 ± 0,0068	1,187 ± 0,0276	15,371 ± 0,3579	0,735 ± 0,0171
Бедренная мышца	0,319 ± 0,0029	1,709 ± 0,0156	35,004 ± 0,3195	1,594 ± 0,0146
Печень	1,033 ± 0,0094	11,428 ± 0,1043	90,057 ± 0,8221	9,663 ± 0,0882
Корм	6,043 ± 0,0295	19,416 ± 0,0947	71,066 ± 0,3468	112,066 ± 0,5468
Помет	11,834 ± 0,0577	67,716 ± 0,3304	448,610 ± 2,1890	484,266 ± 2,3630
Баланс поступления	4,946 ± 0,2987	1,345 ± 0,0812	-93,423 ± 5,6420	-38,004 ± 2,2952
Показатели опытной группы с добавлением ванилина 0,25 мг/кг корма				
Грудная мышца	0,260 ± 0,0038*	1,487 ± 0,0219*	18,941 ± 0,2788*	0,734 ± 0,0108
Бедренная мышца	0,196 ± 0,0029*	1,592 ± 0,0234*	48,676 ± 0,7165*	0,799 ± 0,0118*
Печень	1,187 ± 0,0175*	12,226 ± 0,1800*	88,370 ± 1,3008	11,505 ± 0,1693*
Корм	6,043 ± 0,0563	19,416 ± 0,1808	71,066 ± 0,6616	112,066 ± 1,0433
Помет	9,234 ± 0,0860*	70,908 ± 0,6601*	798,243 ± 7,4312*	488,975 ± 4,5521
Баланс поступления	6,490 ± 0,1999*	-0,745 ± 0,0230*	-284,835 ± 8,776*	-46,043 ± 1,4187*
Показатели опытной группы с добавлением ванилина 0,50 мг/кг корма				
Грудная мышца	0,475 ± 0,0080*	1,401 ± 0,0236*	15,488 ± 0,2607	0,922 ± 0,0155*
Бедренная мышца	0,224 ± 0,0038*	1,862 ± 0,0313*	39,135 ± 0,6587*	1,012 ± 0,0170*
Печень	1,382 ± 0,0233*	10,447 ± 0,1758*	85,232 ± 1,4347*	9,968 ± 0,1678
Корм	6,043 ± 0,0544	19,416 ± 0,1747	71,066 ± 0,6394	112,066 ± 1,0083
Помет	12,883 ± 0,1159*	80,522 ± 0,7245*	478,905 ± 4,3089*	538,816 ± 4,8479*
Баланс поступления	6,601 ± 0,3250*	2,842 ± 0,1399*	-76,046 ± 3,7437*	-18,358 ± 0,9037*
Показатели опытной группы с добавлением ванилина 0,75 мг/кг корма				
Грудная мышца	0,381 ± 0,0049*	2,167 ± 0,0280*	16,485 ± 0,2128*	0,966 ± 0,0125*
Бедренная мышца	0,306 ± 0,0040*	1,804 ± 0,0233*	36,919 ± 0,4766*	1,055 ± 0,0136*
Печень	0,944 ± 0,0122*	11,057 ± 0,1427	78,573 ± 1,0144*	9,938 ± 0,1283
Корм	6,043 ± 0,0417	19,416 ± 0,1340	71,066 ± 0,4904	112,066 ± 0,7733
Помет	12,366 ± 0,0853*	75,316 ± 0,5197*	518,861 ± 3,5805*	500,293 ± 3,4523*
Баланс поступления	5,729 ± 0,4709	2,314 ± 0,1905*	-101,497 ± 8,3418	-16,300 ± 1,3407*

Примечание. *— $p \leq 0,05$.

Следует отметить, что максимальные концентрации всех исследуемых элементов регистрировались в тканях печени, в разы превышая уровень накопления в грудной и бедренной мышцах.

Уровень распределения железа в исследуемых образцах свидетельствует о неоднозначном влиянии различных концентраций ванилина на степень накопления данного элемента. Во всех тестируемых группах регистрируется снижение Fe в бедренной мышце: на 38,56 % в первой ($p \leq 0,05$), 29,78 % — второй ($p \leq 0,05$) и 4,08 % — третьей ($p \leq 0,05$) группах относительно контроля. Степень фиксации данного элемента в грудной мышце имела отрицательные значения накопления при концентрации ванилина в дозе 0,25 мг/кг корма на 32,88 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с показателями интактных цыплят. При увеличении дозы ванилина до 0,50 мг/кг

концентрация железа в грудной мышце имела максимальные показатели и превышала контрольные на 62,67 % ($p \leq 0,05$).

Содержание меди в исследуемых образцах также свидетельствует о значительном влиянии ванилина в концентрациях 0,50 мг/кг и 0,75 мг/кг корма на степень накопления данного элемента в тканях, так максимальный уровень Cu в грудной мышце регистрировался в третьей опытной группе и составил в среднем 2,167 мг/кг, что на 82,56 % выше показателя интактной группы.

Максимальные показатели содержания цинка в исследуемых образцах регистрировались в первой опытной группе с увеличением концентрации на 23,23 % в грудной ($p \leq 0,05$) и 39,06 % бедренной ($p \leq 0,05$) мышцах, по отношению к контролю. Концентрации ванилина 0,50 мг/кг и 0,75 мг/кг корма так же оказывают положительное влияние на степень накопления цинка в грудной и бедренной мышцах, превышая контрольные значения на 0,76 и 11,80 % ($p \leq 0,05$) во второй и 7,25 % ($p \leq 0,05$) и 5,47 % ($p \leq 0,05$) в третьей группах соответственно.

Анализ содержания марганца в исследуемых образцах всех тестируемых групп свидетельствует о влиянии ванилина в концентрациях 0,50 и 0,75 мг/кг корма на накопление данного элемента в грудной мышце на 25,44 % ($p \leq 0,05$) и 31,43 % ($p \leq 0,05$) по отношению к контрольным значениям, в первой опытной группе данный показатель имел практически идентичные со значениями интактной группы. В бедренной мышце уровень содержания марганца имел отрицательные по отношению к контролю значения на 49,88 % в первой ($p \leq 0,05$), 36,51 % — второй ($p \leq 0,05$) и 33,81 % — третьей ($p \leq 0,05$) группах. Ранее в исследованиях было обнаружено, что совместное включение пробиотика *Bacillus cereus* и кумарина в рацион птиц способствовало увеличению содержания большего количества химических элементов в печени (Ca, K, Mg, Mn, Si и Zn) и грудных мышцах (Ca, Na, Co, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn) [27], что также может быть связано со способностью фитохимических веществ проявлять синергизм [28, 29].

Обобщая результаты влияния ванилина на уровень накопления эссенциальных элементов в теле цыплят-бройлеров, следует отметить выраженную стимуляцию механизмов биосорбции цинка во всех экспериментальных группах с максимальным уровнем на фоне 0,25 мг ванилина на 1 кг корма. Распределение остальных элементов не имеет общей тенденции в увеличению или снижению во всех исследуемых тканях, однако следует отметить, что минимальная концентрация ванилина отрицательно влияет на уровень накопления марганца, о чем свидетельствует не только снижение уровня данного элемента в мышечной ткани, но и максимальные значения отрицательного баланса поступления Mn в организм.

Заключение

Проведенный анализ эффективности использования ванилина в качестве кормовой добавки свидетельствует о высоком потенциале его использования в качестве фитогенного стимулятора роста. Исследуемые в ходе реализации эксперимента концентрации ванилина оказывают выраженное действие как на показатели ро-

ста, так и на химический состав. Максимальные динамические показатели роста и качественные характеристики химического состава установлены на фоне применения 0,25 мг ванилина на 1 кг основного рациона. Так предубойная масса тела в данной группе имела максимальные значения, среди опытных групп и превышала контрольные значения на 22,16 % ($p \leq 0,05$), против 16,71 % ($p \leq 0,05$) во второй и 12,14 % в третьей группах. Анализ химического состава также свидетельствует о благотворном влиянии минимальной тестируемой дозы ванилина на организм цыплят-бройлеров. Так на фоне минимальных показателей воды и жира в туше регистрируются максимальные концентрации протеина и зольного остатка.

Исследование уровня накопления макро- и эссенциальных элементов также позволяет с высокой долей уверенности говорить о том, что минимальная концентрация ванилина наиболее благотворно влияет на степень накопления большинства из исследуемых элементов с максимальным уровнем содержания кальция, натрия и цинка в мышечной ткани.

Список литературы

1. Yausheva E, Kosyan D, Duskaev G, Kvan O, Rakhmatullin S. 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—4171. doi: 10.33263/BRIAC94.168171
2. Swaggerty CL, He H, Genovese KJ, Callaway TR, Kogut MH, Piva A, et al. A microencapsulated feed additive containing organic acids, thymol, and vanillin increases in vitro functional activity of peripheral blood leukocytes from broiler chicks. *Poult Sci*. 2020;99(7):3428—3436. doi: 10.1016/j.psj.2020.03.031
3. Al-Mnaser A, Dakheel M, Alkandari F, Woodward M. Polyphenolic phytochemicals as natural feed additives to control bacterial pathogens in the chicken gut. *Arch Microbiol*. 2022;204(5):253. doi: 10.1007/s00203-022-02862-5
4. Gessner DK, Ringseis R, Eder K. Potential of plant polyphenols to combat oxidative stress and inflammatory processes in farm animals. *J Anim Physiol Anim Nutr*. 2017;101(4):605—628. doi: 10.1111/jpn.12579
5. Micciche AC, Foley SL, Pavlidis HO, McIntyre DR, Ricke SC. A Review of prebiotics against Salmonella in poultry: current and future potential for microbiome research applications. *Front Vet Sci*. 2018;5:191. doi: 10.3389/fvets.2018.00191
6. Latek U, Chłopecka M, Karlik W, Mendel M. Phytogetic compounds for enhancing intestinal barrier function in poultry — a review. *Planta Med*. 2022;88(03–04):218—236. doi: 10.1055/a-1524-0358
7. Valenzuela-Grijalva NV, Pinelli-Saavedra A, Muhlia-Almazan A, Domínguez-Díaz D, González-Ríos H. Dietary inclusion effects of phytochemicals as growth promoters in animal production. *J Anim Sci Technol*. 2017;59:8. doi: 10.1186/s40781-017-0133-9
8. Bezerra-Filho CSM, Barboza JN, Souza MTS, Sabry P, Ismail NSM, de Sousa DP. Therapeutic Potential of Vanillin and its Main Metabolites to Regulate the Inflammatory Response and Oxidative Stress. *Mini Rev Med Chem*. 2019;19(20):1681—1693. doi: 10.2174/1389557519666190312164355
9. Banerjee G, Chattopadhyay P. Vanillin biotechnology: the perspectives and future. *J Sci Food Agric*. 2019;99(2):499—506. doi: 10.1002/jsfa.9303
10. de Oliveira RT, da Silva Oliveira JP, Macedo AF. Vanilla beyond *Vanilla planifolia* and *Vanilla × tahitensis*: Taxonomy and Historical Notes, Reproductive Biology, and Metabolites. *Plants*. 2022;11(23):3311. doi: 10.3390/plants1123311
11. Ma Q, Liu L, Zhao S, Huang Z, Li C, Jiang S, et al. Biosynthesis of vanillin by different microorganisms: a review. *World J Microbiol Biotechnol*. 2022;38:40. doi: 10.1007/s11274-022-03228-1
12. Kundu A. Vanillin biosynthetic pathways in plants. *Planta*. 2017;245:1069—1078. doi: 10.1007/s00425-017-2684-x

13. Iannuzzi C, Liccardo M, Sirangelo I. Overview of the Role of Vanillin in Neurodegenerative Diseases and Neuropathophysiological Conditions. *Int J Mol Sci.* 2023;24(3):1817. doi: 10.3390/ijms24031817
14. Ghanim AMH, Younis NS, Metwaly HA. Vanillin augments liver regeneration effectively in Thioacetamide induced liver fibrosis rat model. *Life Sci.* 2021;286:120036. doi: 10.1016/j.lfs.2021.120036
15. Choi S, Haam CE, Oh EY, Byeon S, Choi SK, Lee YH. Vanillin induces relaxation in rat mesenteric resistance arteries by inhibiting extracellular Ca²⁺ Influx. *Molecules.* 2023;28(1):288. doi: 10.3390/molecules28010288
16. Wang P, Li C, Liao G, Huang Y, Lv X, Liu X, et al. Vanillin attenuates proinflammatory factors in a tMCAO mouse model via inhibition of TLR4/NF-κB signaling pathway. *Neuroscience.* 2022;491:65–74. doi: 10.1016/j.neuroscience.2022.03.003
17. Salau VF, Erukainure OL, Ibeji CU, Olasehinde TA, Koorbanally NA, Islam MS. Vanillin and vanillic acid modulate antioxidant defense system via amelioration of metabolic complications linked to Fe²⁺-induced brain tissues damage. *Metab Brain Dis.* 2020;35(5):727–738. doi: 10.1007/s11011-020-00545-y
18. Calixto-Campos C, Carvalho TT, Hohmann MS, Pinho-Ribeiro FA, Fattori V, Manchope MF, et al. Vanillic Acid inhibits inflammatory pain by inhibiting neutrophil recruitment, oxidative stress, cytokine production, and NFκB activation in mice. *J Nat Prod.* 2015;78(8):1799–1808. doi: 10.1021/acs.jnatprod.5b00246
19. Liu X, Yang J, Li J, Xu C, Jiang W. Vanillin attenuates cadmium-induced lung injury through inhibition of inflammation and lung barrier dysfunction through activating Ah R. *Inflammation.* 2021;44(6):2193–2202. doi: 10.1007/s10753-021-01492-1
20. Shastry RP, Ghate SD, Sukesh Kumar B, Srinath BS, Kumar V. Vanillin derivative inhibits quorum sensing and biofilm formation in *Pseudomonas aeruginosa*: a study in a *Caenorhabditis elegans* infection model. *Nat Prod Res.* 2022;36(6):1610–1615. doi: 10.1080/14786419.2021.1887866
21. Minich A, Levarski Z, Mikulášová M, Straka M, Liptáková A, Stuchlík S. Complex analysis of vanillin and syringic acid as natural antimicrobial agents against *Staphylococcus epidermidis* biofilms. *Int J Mol Sci.* 2022;23(3):1816. doi: 10.3390/ijms23031816
22. Bialkowski S, Toschi A, Yu LE, Schlitzkus L, Mann P, Grilli E, et al. Effects of microencapsulated blend of organic acids and botanicals on growth performance, intestinal barrier function, inflammatory cytokines, and endocannabinoid system gene expression in broiler chickens. *Poult Sci.* 2023;102(3):102460. doi: 10.1016/j.psj.2022.102460
23. Stamilla A, Russo N, Messina A, Spadaro C, Natalello A, Caggia C, et al. Effects of microencapsulated blend of organic acids and essential oils as a feed additive on quality of chicken breast meat. *Animals.* 2020;10(4):640. doi: 10.3390/ani10040640
24. Krauze M, Cendrowska-Pinkosz M, Matusievičius P, Stępniewska A, Jurczak P, Ognik K. The effect of administration of a phytobiotic containing cinnamon oil and citric acid on the metabolism, immunity, and growth performance of broiler chickens. *Animals.* 2021;11(2):399. doi: 10.3390/ani11020399
25. Duskaev G, Kurilkina M, Zavyalov O. Growth-stimulating and antioxidant effects of vanillic acid on healthy broiler chickens. *Vet World.* 2023;16(3):518–525. doi: 10.14202/vetworld.2023.518-525
26. Vlaicu PA, Untea AE, Turcu RP, Saracila M, Panaite TD, Cornescu GM. Nutritional composition and bioactive compounds of basil, thyme and sage plant additives and their functionality on broiler thigh meat quality. *Foods.* 2022;11(8):1105. doi: 10.3390/foods11081105
27. Duskaev G, Rakhmatullin S, Kvan O. Effects of *Bacillus cereus* and coumarin on growth performance, blood biochemical parameters, and meat quality in broilers. *Veterinary World.* 2020;13(11):2484–2492. doi: 10.14202/VETWORLD.2020.2484-2492
28. Deryabin D, Inchagova K, Rusakova E, Duskaev G. Coumarin's anti-quorum sensing activity can be enhanced when combined with other plant-derived small molecules. *Molecules.* 2021;26(1):208. doi: 10.3390/molecules26010208
29. Inchagova KS, Duskaev GK, Deryabin DG. Quorum sensing inhibition in *Chromobacterium violaceum* by amikacin combination with activated charcoal or small plant-derived molecules (pyrogallol and coumarin). *Microbiology.* 2019;88:63–71. doi: 10.1134/S0026261719010132

Об авторах:

Дускаев Галимжан Калиханович — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: gduskaev@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9015-8367 SPIN-код: 7297-3319

Кван Ольга Вилориевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: kwan111@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-0561-7002 SPIN-код: 1106-1232

Сизенцов Ярослав Алексеевич — аспирант 1 года обучения, лаборант исследователь отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: yasizen@mail.ru

ORCID: 0000-0002-1871-0225 SPIN-код: 5160-2547

Курилкина Марина Яковлевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: k_marina4@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0253-7867 SPIN-код: 8964-6042

Нуржанов Баер Серекпаевич — доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3240-6112 SPIN-код: 2532-5211