

Изучение эффективности влияния кверцетина на биохимические показатели тушки цыплят-бройлеров

М. Я. Курилкина[✉], Ш. Г. Рахматуллин, Г. К. Дускаев

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

[✉]E-mail: K_marina4@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – оценка влияния кверцетина на биохимический состав тушки цыплят-бройлеров. **Методы.** Исследования были проведены на 100 головах 7-суточных цыплят-бройлеров (кросс Арбор Айкрес, 4 группы, $n = 25$). Схема эксперимента: контрольная группа – основной рацион (ОР); I опытная (ОР + кверцетин в дозе 5 мг/кг корма/сут); II опытная (ОР + кверцетин в дозе 10 мг/кг корма/сут); III опытная (ОР + кверцетин в дозе 15 мг/кг корма/сут). **Научная новизна** заключается в том, что впервые изучено влияние применения малых молекул растительного происхождения (кверцетина дигидрата) на биохимический состав мышечной ткани и печени цыплят-бройлеров. **Результаты.** Установлено, что аминокислотный состав мышечной ткани подопытной птицы отличался более высоким содержанием лизина, фенилаланина, лейцина-изолейцина, метионина, пролина, аланина и глицина в I и III группах (грудные мышцы), а также высоким содержанием гистидина, пролина в III группе (бедренные мышцы). В печени опытных групп установлено повышенное содержание лизина, тирозина, фенилаланина, гистидина, лейцина-изолейцина, валина, пролина, аланина и глицина. Также установлено увеличение концентрации жирных кислот в грудных мышцах: пальмитолеиновой (III группа), стеариновой и линоленовой (II группа), арахидоновой (I и III группы), в бедренных мышцах: линоленовой (I и II группы) – при снижении пальмитиновой, пальмитолеиновой (I группа) и арахидоновой (I–III группы). В печеночной ткани фиксировалось снижение содержания пальмитолеиновой (I–III группы), олеиновой (III группа), и увеличение пальмитиновой (III группа), линоленовой (I–III группы). Введение в рацион испытуемого растительного препарата имело неоднозначный характер воздействия на минеральный профиль мышц и печени подопытных цыплят, которое проявлялось в виде повышения уровня отдельных элементов при значительном снижении других.

Ключевые слова: малые молекулы, кверцетин дигидрат, цыплята-бройлеры, химический состав, мышечная ткань, печень, аминокислотный профиль, жирнокислотный профиль, минеральный состав

Для цитирования: Курилкина М. Я., Рахматуллин Ш. Г., Дускаев Г. К. Изучение эффективности влияния кверцетина на биохимические показатели тушки цыплят-бройлеров // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 04. С. 493–509. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-04-493-509>.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00036.

Дата поступления статьи: 02.08.2023, **дата рецензирования:** 07.09.2023, **дата принятия:** 10.10.2023.

Studying the effectiveness of quercetin influence on the biochemical parameters of broiler chicken carcasses

M. Ya. Kurilkina[✉], Sh. G. Rakhmatullin, G. K. Duskaev

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

[✉]E-mail: K_marina4@mail.ru

Abstract. The purpose of the study was to evaluate the effect of quercetin on the biochemical composition of the carcass of broiler chickens. **Methods.** The studies were carried out on 100 heads of 7-day-old broiler chickens (cross Arbor Acres, 4 groups, $n = 25$). Experimental scheme: control group – basic diet (RR); I experienced (OR + quercetin at a dose of 5 mg/kg feed/day); II experimental (OR + quercetin at a dose of 10 mg/kg feed/day); III experimental (OR + quercetin at a dose of 15 mg/kg feed/day). **The scientific novelty** lies in the fact that for the first time the influence of the use of small molecules of plant origin: quercetin dihydrate on the biochemical composition of muscle tissue and liver of broiler chickens was studied. **Results.** It was established that the amino acid composition of the muscle tissue of the experimental bird was distinguished by a higher content of: lysine, phenylalanine, leucine-isoleucine, methionine, proline, alanine and glycine in groups I and III (pectoral muscles), as well as a high content of histidine, proline in group III (thigh muscles). In the liver of the experimental groups, an increase in the content of: lysine, tyrosine, phenylalanine, histidine, leucine-isoleucine, valine, proline, alanine and glycine was found. An increase in the concentration of fatty acids in the pectoral muscles was also found: palmitoleic (group III), stearic and linolenic (group II), arachidonic (groups I and III), in the femoral muscles: linolenic (groups I and II), with a decrease in palmitic, palmitoleic (I group) and arachidonic (I–III groups). In the liver tissue, a decrease in the content of palmitoleic (groups I–III), oleic (group III), and an increase in palmitic (group III), linolenic (groups I–III) was recorded. The introduction of the tested herbal preparation into the diet had an ambiguous effect on the mineral profile of the muscles and liver of experimental chickens, which manifested itself in the form of an increase in the level of individual elements with a significant decrease in others.

Keywords: small molecules, quercetin dihydrate, broiler chickens, chemical composition, muscle tissue, liver, amino acid profile, fatty acid profile, mineral composition

For citation: Kurilkina M. Ya., Rakhmatullin Sh. G., Duskaev G. K. Studying the effectiveness of quercetin influence on the biochemical parameters of broiler chicken carcasses. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (4): 493–509. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-04-493-509>. (In Russ.)

Acknowledgements. The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 22-16-00036.

Date of paper submission: 02.08.2023, **date of review:** 07.09.2023, **date of acceptance:** 10.10.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Мясо птицы становится одним из наиболее важных источников животного белка для человека с точки зрения пользы для здоровья, стоимости и эффективности производства. Интенсивный генетический отбор и усовершенствование программ кормления значительно повысили производительность и эффективность бройлерного производства [1, с. 365]. Однако современные методы выращивания бройлеров приводят к изменению состава тела, увеличению проблем с безопасностью пищевых продуктов и снижению выхода и качества мяса из-за целого ряда проблем, включая быстрый рост, заражение патогенами, тепловой стресс, риск возникновения устойчивости к противомикробным препаратам и т. д. [2; 3].

Исследования показали, что модулирование питательного состава корма и добавление биоактивных соединений, включая полифенольные соединения, положительно влияют на качество мяса и состав тела цыплят-бройлеров [4].

Экстракты растений и эфирные масла, которые содержат различные полифенольные соединения (например, вторичные метаболиты растений), привлекли большое внимание в качестве альтернативных антибиотиков-стимуляторов роста в бройлерном производстве из-за их антимикробного, антиоксидантного и противовоспалительного действия [5–7]. Soldado и др. [8] предположили, что высокомолекулярные полифенольные соединения могут проявлять системные антиоксидантные эффекты за счет улучшения антиоксидантного статуса в желу-

дочно-кишечном тракте. Антиоксидантные эффекты полифенолов объясняют их благотворное влияние на улучшение качества мяса, что выражается в снижении перекисного окисления липидов в мясе бройлеров [9].

Наиболее известными группами веществ, которые относятся к полифенолам, являются флавоноиды. В последние годы в ветеринарии широко используется кверцетин – природный флавоноид, который обладает противовоспалительными, антиоксидантными и антиапоптозными свойствами, поэтому его все чаще рекомендуют в качестве пищевой добавки для животных и птицы [10, с. 912; 11, с. 75; 12, с. 634; 13]. Более того, кверцетин может предотвращать окислительный стресс, удаляя свободные радикалы, продукты окисления и стимулируя антиоксидантные ферменты в организме птицы [14; 15]. В частности, было установлено, что кверцетин снижает окислительный стресс в кишечнике у цыплят-бройлеров, тем самым стимулируя повышение усвояемости питательных веществ корма [16].

Таким образом, опираясь на проведенные ранее исследования, можно предположить, что растительные полифенольные соединения, в том числе кверцетин, могут стать эффективным инструментом для улучшения качества и выхода мяса за счет повышения переваримости питательных веществ и снижения перекисного окисления липидов при выращивании цыплят-бройлеров [17]. Вместе с тем важно отметить, что эффективность добавок кверцетина может зависеть от различных факторов, включая дозировку, продолжительность приема и конкретные условия системы выращивания.

В связи с этим целью данного исследования являлась оценка влияния разных дозировок кверцетина на биохимический состав мяса и печени цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres.

Методология и методы исследования (Methods)

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и Guide for the Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press, Washington, D. C., 1996). При выполнении исследований были предприняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить количество используемых образцов.

Исследования были проведены на 100 головах 7-суточных цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres, разделенных на 4 группы ($n = 25$). Контрольная группа получала основной рацион (ОР) кормления. В рацион кормления опытных групп дополнительно включались малые молекулы растительного проис-

хождения: кверцетин дигидрат (95+% AL33795-1), в том числе: I опытная группа (ОР + кверцетин в дозе 5 мг/кг корма в сутки); II опытная группа (ОР + кверцетин в дозе 10 мг/кг корма в сутки); III опытная группа (ОР + кверцетин в дозе 15 мг/кг корма в сутки). Кормление и поение птицы осуществлялись групповым методом согласно методическим рекомендациям ВНИТИП [18, с. 180].

Убой и анатомическую разделку подопытных бройлеров проводили в возрасте 42 суток [19, с. 255]. Образцы ткани грудной, бедренной мышцы и печени отбирались сразу после убоя и замораживались ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В образцах опытных биосубстратов были установлены массовая доля сухого вещества, сырого протеина (ГОСТ 25011-2017), сырого жира (ГОСТ 23042-2015). Массовую долю влаги определяли на основании высушивания, массовую долю золы – методом сжигания, жира – методом Сокслета, протеина – по методу Кьельдаля. Аминокислотный состав биосубстратов был определен методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель-105М» (Россия). Жирнокислотный состав биосубстратов определялся методом газовой хроматографии при помощи автоматического газового хроматографа «Кристалл-ЛЮКС-4000» (Россия). Минеральный состав биосубстратов исследовали методами атомно-эмиссионной (Optima 2000 V, Perkin Elmer, США) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Elan 9000, Perkin Elmer, США).

Статистический анализ проводился с использованием программного пакета Statistica 10.0. Достоверность различий проверяли при помощи U -критерия Манна – Уитни. Уровень значимости $P \leq 0,05$.

Результаты (Results)

Данные химического состава мышечных тканей показали, что добавление малых молекул растительного происхождения (кверцетин дигидрата) в рацион подопытной птицы сопровождалось достоверным увеличением массовой доли жира в грудных мышцах II группы ($P \leq 0,05$), и незначительным снижением в I ($P \leq 0,05$) и III ($P \leq 0,05$) опытных группах, по отношению к особям из контрольной. При этом в бедренных мышцах, напротив, фиксировалось повышение массовой доли жира в I опытной ($P \leq 0,05$) и снижение в III группе ($P \leq 0,05$). В образцах печени наблюдалось повышение данного показателя во II группе, на фоне снижения в I ($P \leq 0,05$) относительно контрольной группы. Следует отметить, что, несмотря на отсутствие достоверного влияния испытуемых добавок на массовую долю сухого вещества и белка в грудных мышцах, нами было отмечено значительное повышение этих показателей у особей всех опытных групп по отношению к контролю (таблица 1).

Таблица 1

Химический состав мышц и печени цыплят-бройлеров, %

Показатель	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Грудные мышцы				
Массовая доля влаги	78,2 ± 2,45	77,1 ± 2,67	77,5 ± 2,71	76,5 ± 3,06
Массовая доля сухого вещества	21,8 ± 0,77	22,9 ± 0,89	22,5 ± 1,01	23,5 ± 0,95
Массовая доля жира	1,0 ± 0,04	0,8 ± 0,05*	1,5 ± 0,05*	0,8 ± 0,06*
Массовая доля золы	0,99 ± 0,06	0,99 ± 0,06	0,95 ± 0,07	0,99 ± 0,09
Массовая доля белка	19,8 ± 0,89	21,1 ± 1,01	20,0 ± 1,05	21,7 ± 0,86
Бедренные мышцы				
Массовая доля влаги	77,1 ± 3,51	78,0 ± 2,91	78,1 ± 2,44	76,7 ± 2,56
Массовая доля сухого вещества	22,9 ± 0,77	22,0 ± 0,74	21,9 ± 0,82	23,4 ± 0,84
Массовая доля жира	2,6 ± 0,07	2,9 ± 0,09*	2,7 ± 0,05	2,4 ± 0,06*
Массовая доля золы	0,97 ± 0,01	0,97 ± 0,02	0,97 ± 0,01	0,98 ± 0,01
Массовая доля белка	19,3 ± 0,61	18,1 ± 0,66	18,2 ± 0,67	20,0 ± 0,59
Печень				
Массовая доля влаги	82,0 ± 2,67	82,1 ± 2,79	81,0 ± 2,66	82,7 ± 2,78
Массовая доля сухого вещества	18,0 ± 1,11	18,0 ± 0,98	19,0 ± 0,97	17,3 ± 1,02
Массовая доля жира	4,0 ± 0,11	3,2 ± 0,12*	4,8 ± 0,10*	4,3 ± 0,14
Массовая доля золы	0,96 ± 0,02	0,97 ± 0,03	0,95 ± 0,01	0,96 ± 0,02
Массовая доля белка	13,0 ± 0,45	13,8 ± 0,49	13,2 ± 0,41	12,0 ± 0,40

Примечание. * P ≤ 0,05.

Table 1

Chemical composition of muscles and liver of broiler chickens, %

Indicator	Group			
	Control	I experimental	II experimental	III experimental
Pectoral muscles				
Moisture content	78.2 ± 2.45	77.1 ± 2.67	77.5 ± 2.71	76.5 ± 3.06
Mass fraction of dry matter	21.8 ± 0.77	22.9 ± 0.89	22.5 ± 1.01	23.5 ± 0.95
Mass fraction of fat	1.0 ± 0.04	0.8 ± 0.05*	1.5 ± 0.05*	0.8 ± 0.06*
Mass fraction of ash	0.99 ± 0.06	0.99 ± 0.06	0.95 ± 0.07	0.99 ± 0.09
Mass fraction of protein	19.8 ± 0.89	21.1 ± 1.01	20.0 ± 1.05	21.7 ± 0.86
Thigh muscles				
Moisture content	77.1 ± 3.51	78.0 ± 2.91	78.1 ± 2.44	76.7 ± 2.56
Mass fraction of dry matter	22.9 ± 0.77	22.0 ± 0.74	21.9 ± 0.82	23.4 ± 0.84
Mass fraction of fat	2.6 ± 0.07	2.9 ± 0.09*	2.7 ± 0.05	2.4 ± 0.06*
Mass fraction of ash	0.97 ± 0.01	0.97 ± 0.02	0.97 ± 0.01	0.98 ± 0.01
Mass fraction of protein	19.3 ± 0.61	18.1 ± 0.66	18.2 ± 0.67	20.0 ± 0.59
Liver				
Moisture content	82.0 ± 2.67	82.1 ± 2.79	81.0 ± 2.66	82.7 ± 2.78
Mass fraction of dry matter	18.0 ± 1.11	18.0 ± 0.98	19.0 ± 0.97	17.3 ± 1.02
Mass fraction of fat	4.0 ± 0.11	3.2 ± 0.12*	4.8 ± 0.10*	4.3 ± 0.14
Mass fraction of ash	0.96 ± 0.02	0.97 ± 0.03	0.95 ± 0.01	0.96 ± 0.02
Mass fraction of protein	13.0 ± 0.45	13.8 ± 0.49	13.2 ± 0.41	12.0 ± 0.40

Note. * P ≤ 0.05.

Сравнительный анализ аминокислотного состава грудных мышц подопытных цыплят-бройлеров характеризовался более высоким содержанием лизина, фенилаланина, лейцина-изолейцина, метионина, пролина, аланина и глицина в I опытной (P ≤ 0,05) и высоким содержанием фенилаланина,

метионина в III опытной группе (P ≤ 0,05) по сравнению с контролем. При этом аминокислотный состав бедренных мышц отличался более высоким количеством гистидина и пролина в III опытной группе (P ≤ 0,05) и низким содержанием тирозина во II группе (P ≤ 0,05) относительно контрольных значений.

Аминокислотный состав печени подопытных бройлеров характеризовался более высоким содержанием лизина, тирозина, гистидина, валина, пролина, аланина и глицина в I группе ($P \leq 0,05$), высоким содержанием гистидина, аланина во II группе ($P \leq 0,05$), также высоким показателем тирозина, пролина в III группе ($P \leq 0,05$) и низким содержа-

нием метионина во II опытной группе ($P \leq 0,05$) в сравнении с контрольной. Уровень фенилаланина и лейцина-изолейцина достоверно повышался во всех опытных группах. При этом наиболее значимые достоверные отличия были установлены в опытной группе, получавшей кверцетин дигидрат в дозе 5 мг/кг корма в сутки (I группа) (таблица 2).

Таблица 2
Аминокислотный состав мышц и печени цыплят-бройлеров, %

Показатель	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Грудные мышцы				
Аргинин	4,8 ± 0,14	4,7 ± 0,11	4,5 ± 0,18	5,1 ± 0,16
Лизин	7,0 ± 0,19	7,8 ± 0,14*	7,3 ± 0,16	7,5 ± 0,18
Тирозин	4,2 ± 0,15	4,3 ± 0,18	4,0 ± 0,12	4,2 ± 0,11
Фенилаланин	2,7 ± 0,09	3,0 ± 0,06*	2,9 ± 0,07	3,0 ± 0,05*
Гистидин	2,1 ± 0,09	2,3 ± 0,11	2,2 ± 0,13	2,3 ± 0,08
Лейцин-изолейцин	9,9 ± 0,31	11,2 ± 0,33*	10,4 ± 0,32	10,6 ± 0,37
Метионин	2,0 ± 0,08	2,3 ± 0,09*	2,1 ± 0,07	2,2 ± 0,03*
Валин	4,2 ± 0,16	4,5 ± 0,10	4,5 ± 0,17	4,5 ± 0,14
Пролин	2,8 ± 0,11	3,2 ± 0,12*	2,9 ± 0,11	2,9 ± 0,14
Треонин	3,4 ± 0,14	3,8 ± 0,16	3,5 ± 0,16	3,7 ± 0,13
Серин	3,0 ± 0,12	3,3 ± 0,14	3,0 ± 0,13	3,2 ± 0,10
Аланин	5,2 ± 0,22	6,0 ± 0,26*	5,3 ± 0,12	5,5 ± 0,16
Глицин	3,4 ± 0,14	4,0 ± 0,19*	3,6 ± 0,11	3,6 ± 0,10
Бедренные мышцы				
Аргинин	4,6 ± 0,16	4,9 ± 0,15	4,3 ± 0,12	4,4 ± 0,10
Лизин	7,1 ± 0,18	7,2 ± 0,16	6,9 ± 0,15	7,6 ± 0,22
Тирозин	3,3 ± 0,11	3,1 ± 0,14	2,9 ± 0,12*	3,2 ± 0,13
Фенилаланин	2,8 ± 0,08	2,8 ± 0,12	2,7 ± 0,11	3,0 ± 0,06
Гистидин	1,9 ± 0,05	2,0 ± 0,06	1,9 ± 0,09	2,1 ± 0,04*
Лейцин-изолейцин	9,7 ± 0,31	10,0 ± 0,24	9,4 ± 0,25	10,4 ± 0,27
Метионин	2,0 ± 0,08	2,1 ± 0,09	1,9 ± 0,15	2,2 ± 0,06
Валин	4,2 ± 0,12	4,0 ± 0,13	3,9 ± 0,14	4,3 ± 0,11
Пролин	3,0 ± 0,11	3,2 ± 0,14	3,0 ± 0,13	3,3 ± 0,10*
Треонин	3,4 ± 0,12	3,7 ± 0,11	3,3 ± 0,08	3,6 ± 0,06
Серин	3,0 ± 0,09	3,2 ± 0,17	2,9 ± 0,13	3,2 ± 0,12
Аланин	4,7 ± 0,12	4,9 ± 0,16	4,6 ± 0,15	5,1 ± 0,19
Глицин	3,7 ± 0,20	4,0 ± 0,19	3,7 ± 0,18	4,1 ± 0,15
Печень				
Аргинин	3,4 ± 0,11	3,4 ± 0,14	3,1 ± 0,17	3,4 ± 0,09
Лизин	3,4 ± 0,12	4,2 ± 0,14*	3,8 ± 0,16	3,7 ± 0,11
Тирозин	1,9 ± 0,07	2,3 ± 0,12*	2,0 ± 0,09	2,1 ± 0,06*
Фенилаланин	2,3 ± 0,05	2,7 ± 0,07*	2,5 ± 0,08*	2,5 ± 0,07*
Гистидин	1,2 ± 0,02	1,5 ± 0,04*	1,4 ± 0,05*	1,3 ± 0,06
Лейцин-изолейцин	7,1 ± 0,24	8,8 ± 0,31*	7,8 ± 0,21*	8,0 ± 0,25*
Метионин	1,5 ± 0,06	1,6 ± 0,07	1,3 ± 0,04*	1,5 ± 0,05
Валин	3,4 ± 0,13	4,1 ± 0,14*	3,7 ± 0,12	3,8 ± 0,16
Пролин	2,5 ± 0,12	3,1 ± 0,11*	2,8 ± 0,10	2,9 ± 0,13*
Треонин	2,6 ± 0,10	2,8 ± 0,09	2,6 ± 0,08	2,7 ± 0,11
Серин	2,6 ± 0,11	2,9 ± 0,12	2,7 ± 0,14	2,8 ± 0,20
Аланин	3,2 ± 0,12	3,9 ± 0,16*	3,6 ± 0,09*	3,6 ± 0,22
Глицин	2,8 ± 0,09	3,4 ± 0,14*	3,1 ± 0,12	3,1 ± 0,17

Примечание. * $P \leq 0,05$.

Table 2
Amino acid composition of muscles and liver of broiler chickens, %

Indicator	Group			
	Control	I experimental	II experimental	III experimental
Pectoral muscles				
Arginine	4.8 ± 0.14	4.7 ± 0.11	4.5 ± 0.18	5.1 ± 0.16
Lysine	7.0 ± 0.19	7.8 ± 0.14*	7.3 ± 0.16	7.5 ± 0.18
Tyrosine	4.2 ± 0.15	4.3 ± 0.18	4.0 ± 0.12	4.2 ± 0.11
Phenylalanine	2.7 ± 0.09	3.0 ± 0.06*	2.9 ± 0.07	3.0 ± 0.05*
Histidine	2.1 ± 0.09	2.3 ± 0.11	2.2 ± 0.13	2.3 ± 0.08
Leucine Isoleucine	9.9 ± 0.31	11.2 ± 0.33*	10.4 ± 0.32	10.6 ± 0.37
Methionine	2.0 ± 0.08	2.3 ± 0.09*	2.1 ± 0.07	2.2 ± 0.03*
Valine	4.2 ± 0.16	4.5 ± 0.10	4.5 ± 0.17	4.5 ± 0.14
Proline	2.8 ± 0.11	3.2 ± 0.12*	2.9 ± 0.11	2.9 ± 0.14
Threonine	3.4 ± 0.14	3.8 ± 0.16	3.5 ± 0.16	3.7 ± 0.13
Serine	3.0 ± 0.12	3.3 ± 0.14	3.0 ± 0.13	3.2 ± 0.10
Alanine	5.2 ± 0.22	6.0 ± 0.26*	5.3 ± 0.12	5.5 ± 0.16
Glycine	3.4 ± 0.14	4.0 ± 0.19*	3.6 ± 0.11	3.6 ± 0.10
Thigh muscles				
Arginine	4.6 ± 0.16	4.9 ± 0.15	4.3 ± 0.12	4.4 ± 0.10
Lysine	7.1 ± 0.18	7.2 ± 0.16	6.9 ± 0.15	7.6 ± 0.22
Tyrosine	3.3 ± 0.11	3.1 ± 0.14	2.9 ± 0.12*	3.2 ± 0.13
Phenylalanine	2.8 ± 0.08	2.8 ± 0.12	2.7 ± 0.11	3.0 ± 0.06
Histidine	1.9 ± 0.05	2.0 ± 0.06	1.9 ± 0.09	2.1 ± 0.04*
Leucine Isoleucine	9.7 ± 0.31	10.0 ± 0.24	9.4 ± 0.25	10.4 ± 0.27
Methionine	2.0 ± 0.08	2.1 ± 0.09	1.9 ± 0.15	2.2 ± 0.06
Valine	4.2 ± 0.12	4.0 ± 0.13	3.9 ± 0.14	4.3 ± 0.11
Proline	3.0 ± 0.11	3.2 ± 0.14	3.0 ± 0.13	3.3 ± 0.10*
Threonine	3.4 ± 0.12	3.7 ± 0.11	3.3 ± 0.08	3.6 ± 0.06
Serine	3.0 ± 0.09	3.2 ± 0.17	2.9 ± 0.13	3.2 ± 0.12
Alanine	4.7 ± 0.12	4.9 ± 0.16	4.6 ± 0.15	5.1 ± 0.19
Glycine	3.7 ± 0.20	4.0 ± 0.19	3.7 ± 0.18	4.1 ± 0.15
Liver				
Arginine	3.4 ± 0.11	3.4 ± 0.14	3.1 ± 0.17	3.4 ± 0.09
Lysine	3.4 ± 0.12	4.2 ± 0.14*	3.8 ± 0.16	3.7 ± 0.11
Tyrosine	1.9 ± 0.07	2.3 ± 0.12*	2.0 ± 0.09	2.1 ± 0.06*
Phenylalanine	2.3 ± 0.05	2.7 ± 0.07*	2.5 ± 0.08*	2.5 ± 0.07*
Histidine	1.2 ± 0.02	1.5 ± 0.04*	1.4 ± 0.05*	1.3 ± 0.06
Leucine Isoleucine	7.1 ± 0.24	8.8 ± 0.31*	7.8 ± 0.21*	8.0 ± 0.25*
Methionine	1.5 ± 0.06	1.6 ± 0.07	1.3 ± 0.04*	1.5 ± 0.05
Valine	3.4 ± 0.13	4.1 ± 0.14*	3.7 ± 0.12	3.8 ± 0.16
Proline	2.5 ± 0.12	3.1 ± 0.11*	2.8 ± 0.10	2.9 ± 0.13*
Threonine	2.6 ± 0.10	2.8 ± 0.09	2.6 ± 0.08	2.7 ± 0.11
Serine	2.6 ± 0.11	2.9 ± 0.12	2.7 ± 0.14	2.8 ± 0.20
Alanine	3.2 ± 0.12	3.9 ± 0.16*	3.6 ± 0.09*	3.6 ± 0.22
Glycine	2.8 ± 0.09	3.4 ± 0.14*	3.1 ± 0.12	3.1 ± 0.17

Note. * $P \leq 0.05$.

Результаты анализа жирнокислотного состава исследуемых биосубстратах показали определенные изменения концентраций некоторых жирных кислот в зависимости от уровня кверцетина, однако данное влияние было незначительным (таблица 3).

Анализ жирнокислотного состава грудных мышц подопытных групп показал увеличение

концентраций ряда кислот. В частности, жирных кислот: пальмитолеиновой кислоты в III группе ($P \leq 0,05$), стеариновой и линоленовой во II группе ($P \leq 0,05$), арахидоновой в I ($P \leq 0,05$) и III ($P \leq 0,05$) опытных группах, а также снижение пальмитолеиновой кислоты в I ($P \leq 0,05$) и II ($P \leq 0,05$) опытных группах относительно контроля.

Жирнокислотный состав мышц и печени цыплят-бройлеров, %

Показатель	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Грудные мышцы				
C16:0 пальмитиновая	21,9 ± 0,46	22,3 ± 0,64	21,4 ± 0,68	22,0 ± 0,67
C16:1 пальмитолеиновая	3,80 ± 0,09	2,80 ± 0,07*	3,50 ± 0,08*	4,10 ± 0,09*
C18:0 стеариновая	6,80 ± 0,181	6,80 ± 0,201	7,60 ± 0,212*	7,00 ± 0,223
C18:1 олеиновая	38,9 ± 1,04	39,8 ± 1,14	38,5 ± 1,07	39,4 ± 1,19
C18:2 линолевая	26,7 ± 0,63	26,2 ± 0,72	26,8 ± 0,74	25,1 ± 0,76
C18:3 линоленовая	1,50 ± 0,042	1,60 ± 0,036	1,80 ± 0,049*	1,90 ± 0,420
C20:4 арахидоновая	0,40 ± 0,011	0,50 ± 0,016*	0,40 ± 0,014	0,50 ± 0,012*
Бедренные мышцы				
C16:0 пальмитиновая	19,2 ± 0,11	17,8 ± 0,12*	18,2 ± 0,94	19,0 ± 0,98
C16:1 пальмитолеиновая	4,00 ± 0,184	3,20 ± 0,174*	3,90 ± 0,192	4,00 ± 0,220
C18:0 стеариновая	7,00 ± 0,332	7,60 ± 0,332	7,40 ± 0,372	7,80 ± 0,419
C18:1 олеиновая	38,1 ± 1,97	35,7 ± 2,31	36,4 ± 1,83	37,4 ± 2,10
C18:2 линолевая	29,8 ± 1,46	33,5 ± 1,75	32,0 ± 1,65	29,8 ± 1,23
C18:3 линоленовая	1,50 ± 0,072	2,10 ± 0,088*	1,90 ± 0,093*	1,70 ± 0,084
C20:4 арахидоновая	0,40 ± 0,023	0,10 ± 0,008*	0,20 ± 0,011*	0,30 ± 0,014*
Печень				
C16:0 пальмитиновая	22,2 ± 1,01	24,9 ± 1,23	24,8 ± 1,32	25,4 ± 1,19*
C16:1 пальмитолеиновая	4,10 ± 0,194	3,30 ± 0,175*	3,10 ± 0,143*	3,40 ± 0,166*
C18:0 стеариновая	16,20 ± 0,724	16,80 ± 0,813	16,50 ± 0,847	17,00 ± 0,861
C18:1 олеиновая	37,4 ± 1,72	34,6 ± 1,75	33,2 ± 1,59	31,4 ± 1,63*
C18:2 линолевая	15,6 ± 0,77	15,7 ± 0,79	17,1 ± 0,84	17,9 ± 0,89
C18:3 линоленовая	0,50 ± 0,024	0,80 ± 0,033*	0,80 ± 0,051*	0,70 ± 0,052*
C20:4 арахидоновая	4,00 ± 0,195	3,90 ± 0,201	4,50 ± 0,231	4,20 ± 0,224

Примечание. * P ≤ 0,05.

Table 3

Fatty acid composition of muscles and liver of broiler chickens, %

Indicator	Group			
	Control	I experimental	II experimental	III experimental
Pectoral muscles				
C16:0 palmitic	21.9 ± 0.46	22.3 ± 0.64	21.4 ± 0.68	22.0 ± 0.67
C16:1 palmitoleic	3.80 ± 0.09	2.80 ± 0.07*	3.50 ± 0.08*	4.10 ± 0.09*
C18:0 stearic	6.80 ± 0.181	6.80 ± 0.201	7.60 ± 0.212*	7.00 ± 0.223
C18:1 oleic	38.9 ± 1.04	39.8 ± 1.14	38.5 ± 1.07	39.4 ± 1.19
C18:2 linoleic	26.7 ± 0.63	26.2 ± 0.72	26.8 ± 0.74	25.1 ± 0.76
C18:3 linolenic	1.50 ± 0.042	1.60 ± 0.036	1.80 ± 0.049*	1.90 ± 0.420
C20:4 achidonic	0.40 ± 0.011	0.50 ± 0.016*	0.40 ± 0.014	0.50 ± 0.012*
Thigh muscles				
C16:0 palmitic	19.2 ± 0.11	17.8 ± 0.12*	18.2 ± 0.94	19.0 ± 0.98
C16:1 palmitoleic	4.00 ± 0.184	3.20 ± 0.174*	3.90 ± 0.192	4.00 ± 0.220
C18:0 stearic	7.00 ± 0.332	7.60 ± 0.332	7.40 ± 0.372	7.80 ± 0.419
C18:1 oleic	38.1 ± 1.97	35.7 ± 2.31	36.4 ± 1.83	37.4 ± 2.10
C18:2 linoleic	29.8 ± 1.46	33.5 ± 1.75	32.0 ± 1.65	29.8 ± 1.23
C18:3 linolenic	1.50 ± 0.072	2.10 ± 0.088*	1.90 ± 0.093*	1.70 ± 0.084
C20:4 achidonic	0.40 ± 0.023	0.10 ± 0.008*	0.20 ± 0.011*	0.30 ± 0.014*
Liver				
C16:0 palmitic	22.2 ± 1.01	24.9 ± 1.23	24.8 ± 1.32	25.4 ± 1.19*
C16:1 palmitoleic	4.10 ± 0.194	3.30 ± 0.175*	3.10 ± 0.143*	3.40 ± 0.166*
C18:0 stearic	16.20 ± 0.724	16.80 ± 0.813	16.50 ± 0.847	17.00 ± 0.861
C18:1 oleic	37.4 ± 1.72	34.6 ± 1.75	33.2 ± 1.59	31.4 ± 1.63*
C18:2 linoleic	15.6 ± 0.77	15.7 ± 0.79	17.1 ± 0.84	17.9 ± 0.89
C18:3 linolenic	0.50 ± 0.024	0.80 ± 0.033*	0.80 ± 0.051*	0.70 ± 0.052*
C20:4 achidonic	4.00 ± 0.195	3.90 ± 0.201	4.50 ± 0.231	4.20 ± 0.224

Note. * P ≤ 0.05.

Таблица 4

Элементный состав грудной мышцы цыплят-бройлеров

Элемент	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Эссенциальные и условно-эссенциальные микроэлементы, мг/кг				
B	0,194 ± 0,0018	0,356 ± 0,0111*	0,304 ± 0,0051*	0,197 ± 0,0025
Co	0,044 ± 0,0004	0,032 ± 0,0005*	0,039 ± 0,0007*	0,050 ± 0,0006*
Cr	2,230 ± 0,0204	3,111 ± 0,0870*	2,317 ± 0,0222*	3,375 ± 0,0823*
Cu	1,190 ± 0,0109	0,976 ± 0,0144*	1,284 ± 0,0216*	1,342 ± 0,0173*
Fe	0,293 ± 0,0027	0,305 ± 0,0045*	0,257 ± 0,0043*	0,464 ± 0,0060*
Mn	0,737 ± 0,0067	2,334 ± 0,1079*	0,968 ± 0,0163	1,301 ± 0,0168*
Se	1,311 ± 0,0120	1,120 ± 0,0165*	1,349 ± 0,0227	1,169 ± 0,0151*
Zn	15,410 ± 0,1407	18,163 ± 0,2674*	17,114 ± 0,2881*	16,447 ± 0,2123*
Макроэлементы, г/кг				
Ca	0,178 ± 0,0016	0,254 ± 0,0037*	0,166 ± 0,0028*	0,164 ± 0,0021*
K	10,993 ± 0,1004	13,712 ± 0,2018*	11,680 ± 0,1966*	11,900 ± 0,1536*
Mg	0,896 ± 0,0082	1,171 ± 0,0172*	0,969 ± 0,0163*	0,985 ± 0,0127*
Na	1,375 ± 0,0125	1,612 ± 0,0237*	1,418 ± 0,0239	1,428 ± 0,0184*
Токсические элементы, мг/кг				
Al	28,347 ± 0,2588	22,833 ± 0,3361*	18,100 ± 0,3047*	15,492 ± 0,1225*
Cd	0,482 ± 0,0105	0,338 ± 0,0050*	0,364 ± 0,0033*	0,406 ± 0,0052*
Pb	0,196 ± 0,0018	0,174 ± 0,0026*	0,187 ± 0,0031*	0,189 ± 0,0024*
Sr	0,192 ± 0,0018	0,230 ± 0,0063*	0,122 ± 0,0021*	0,133 ± 0,0017*

Примечание. * P ≤ 0,05.

Table 4

Elemental composition of the pectoral muscle of broiler chickens

Element	Group			
	Control	I experimental	II experimental	III experimental
Essential and conditionally essential trace elements, mg/kg				
B	0.194 ± 0.0018	0.356 ± 0.0111*	0.304 ± 0.0051*	0.197 ± 0.0025
Co	0.044 ± 0.0004	0.032 ± 0.0005*	0.039 ± 0.0007*	0.050 ± 0.0006*
Cr	2.230 ± 0.0204	3.111 ± 0.0870*	2.317 ± 0.0222*	3.375 ± 0.0823*
Cu	1.190 ± 0.0109	0.976 ± 0.0144*	1.284 ± 0.0216*	1.342 ± 0.0173*
Fe	0.293 ± 0.0027	0.305 ± 0.0045*	0.257 ± 0.0043*	0.464 ± 0.0060*
Mn	0.737 ± 0.0067	2.334 ± 0.1079*	0.968 ± 0.0163	1.301 ± 0.0168*
Se	1.311 ± 0.0120	1.120 ± 0.0165*	1.349 ± 0.0227	1.169 ± 0.0151*
Zn	15.410 ± 0.1407	18.163 ± 0.2674*	17.114 ± 0.2881*	16.447 ± 0.2123*
Macroelements, g/kg				
Ca	0.178 ± 0.0016	0.254 ± 0.0037*	0.166 ± 0.0028*	0.164 ± 0.0021*
K	10.993 ± 0.1004	13.712 ± 0.2018*	11.680 ± 0.1966*	11.900 ± 0.1536*
Mg	0.896 ± 0.0082	1.171 ± 0.0172*	0.969 ± 0.0163*	0.985 ± 0.0127*
Na	1.375 ± 0.0125	1.612 ± 0.0237*	1.418 ± 0.0239	1.428 ± 0.0184*
Toxic elements, mg/kg				
Al	28.347 ± 0.2588	22.833 ± 0.3361*	18.100 ± 0.3047*	15.492 ± 0.1225*
Cd	0.482 ± 0.0105	0.338 ± 0.0050*	0.364 ± 0.0033*	0.406 ± 0.0052*
Pb	0.196 ± 0.0018	0.174 ± 0.0026*	0.187 ± 0.0031*	0.189 ± 0.0024*
Sr	0.192 ± 0.0018	0.230 ± 0.0063*	0.122 ± 0.0021*	0.133 ± 0.0017*

Note. * P ≤ 0.05.

При анализе жирнокислотного профиля бедренных мышц установлено достоверное повышение содержания линоленовой кислоты в I (P ≤ 0,05) и II (P ≤ 0,05) опытных группах на фоне снижения пальмитиновой (I группа, P ≤ 0,05), пальмитолеиновой (I группа, P ≤ 0,05) и арахидоновой (I и III группы,

P ≤ 0,05) жирных кислот в сравнении с контрольной группой.

Результаты анализа жирнокислотного состава печени подопытных бройлеров показали, что использование малых молекул растительного происхождения (кверцетина дигидрата) в рационе подопытных

бройлеров приводит к снижению содержания пальмитолеиновой (I, II и III группы, $P \leq 0,05$), олеиновой (III группа, $P \leq 0,05$) жирных кислот, и увеличение пальмитиновой (III группа, $P \leq 0,05$) и линоленовой (I, II и III группы, $P \leq 0,05$) по отношению к контролю.

При анализе полученных данных минерального состава грудных мышц подопытных цыплят-бройлеров были выявлены существенные различия по содержанию основных эссенциальных и токсичных элементов в разрезе изучаемых групп. Так, было установлено, что использование в рационе кверцетина дигидрата в дозе 5 мг/кг корма в сутки сопровождалось повышением ($P \leq 0,05$) содержания Ca, K, Mg, Na, B, Cr, Fe, Mn, Zn, Sr на фоне снижения концентраций Al, Cd, Pb, Co, Cu, Se. В то время как дозировка 10 мг/кг корма в сутки приводила к достоверному увеличению концентраций K, Mg, B, Cr, Cu, Zn и снижению Al, Cd, Pb, Sr, Co, Fe, Ca. Также установлено, что введение в рацион подопытной птицы испытываемой добавки в дозе 15 мг/кг корма в сутки сопровождалось увеличением концентраций K, Mg, Na, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn при снижении Al, Cd, Pb, Sr, Se, Ca ($P \leq 0,05$) (таблица 4).

Результаты минерального состава бедренной мышцы показали, что использование малых молекул растительного происхождения в рационе цыплят-бройлеров приводило к снижению концентрации Co, Cr, Fe, Mn, Al и Pb (I группа) и значительному увеличению B, Cu, Se, Zn, Ca, Na, Cd, Sr. При этом введение кверцетина в рацион птицы II опытной группы способствовало повышению уровней Zn, B, Cd и в то же время снижало концентрации K, Co, Cr, Fe, Al, Pb, Sr. Включение испытываемой добавки в рацион цыплят-бройлеров III опытной группы сопровождалось увеличением концентраций Ca, K, B, Zn, Al и снижением значений Pb, Sr, Co, Cr, Fe, Mn, Se (таблица 5).

Оценка концентраций элементного состава печени подопытных цыплят-бройлеров показала неоднозначный характер влияния изучаемых компонентов рациона на ее минеральный состав (таблица 6).

Наибольшим влиянием на элементный состав печени подопытных бройлеров характеризовалась I опытная группа. Так, добавление кверцетина дигидрата в дозе 5 мг/кг корма в сутки способствовало достоверному повышению содержания Ca, Mg, Na, B, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb и Sr по отношению к контролю. Во II опытной группе наблюдалось повышение концентраций Ca, Mg, Na, B, Zn, Al, Pb и незначительное снижение Cr, Mn, Se, в то время как в III опытной группе зафиксировано повышение концентраций Na, B, Co, Fe, Zn, Al, Pb на фоне снижения Cr, Se и Sr.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Известно, что растительные полифенольные соединения влияют на накопление жира у цыплят-бройлеров. Так, Park и Kim [20, с. 708; 21, с. 9;

22, с. 468] сообщили, что добавление *Achyranthes asper* (от 0,025 % до 0,1%) в рацион цыплят-бройлеров способствует снижению массы абдоминального жира и увеличивает выход грудного мяса, это может быть связано с его активным компонентом – сапонином, который может снижать уровень липидов, улучшать общую усвояемость кормов в желудочно-кишечном тракте. Huang и др. [23] продемонстрировали, что пероральное введение (50 или 100 мг/кг массы тела) полифенолов зеленого чая уменьшало накопление жира посредством подавляющей регуляции генов, связанных с накоплением жира, и повышающей регуляции генов, связанных с метаболизмом и транспортировкой жира. Добавление дубильной кислоты (от 0,5 до 2,5 г/кг корма) уменьшает накопление жира у цыплят-бройлеров за счет снижения выработки микробных метаболитов, важных источников энергии для хозяина [24]. Аналогичные результаты были получены в нашем эксперименте при анализе химического состава грудных мышц цыплят I и III опытных групп.

Использование в эксперименте малых молекул растительного происхождения (кверцетина дигидрата) значительно улучшало содержание различных отдельных аминокислот, в том числе установлены более высокие уровни незаменимых аминокислот по сравнению с контрольной группой. Наши данные согласуются с ранее проведенными исследованиями, в которых отмечается, что пищевые добавки с различными уровнями фиолетового кукурузного пигмента (богатого антоцианами) улучшают качество мяса и профили аминокислот в мышцах цыплят. Причина может заключаться в том, что растения, богатые полифенолами, проявляют сильную антиоксидантную способность и снижают концентрацию свободных радикалов, тем самым улучшая уровень аминокислот в мышцах [25, с. 410]. В частности, существует мнение, что полифенолы могут снижать содержание тиобарбитуровой кислоты и общего летучего основного азота у цыплят. Более того, свободные радикалы легко реагируют с высокочувствительными аминокислотными остатками, а образование белковых карбониллов может привести к окислительному повреждению мышечного белка [26, с. 1373; 27; 28]. В более поздних исследованиях установлено, что экстракт прополиса, содержащий большое количество полифенольных соединений, может улучшить концентрацию аминокислот в курином мясе, тогда как экстракты растений, содержащие фенольные соединения, можно использовать в качестве естественного стимулятора роста в кормах для домашней птицы, поскольку они могут повысить скорость роста цыплят-бройлеров за счет положительного воздействия на усвояемость аминокислот в подвздошной кишке [29, с. 1905; 30].

Таблица 5

Элементный состав бедренной мышцы цыплят-бройлеров

Биология и биотехнологии

Элемент	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Эссенциальные и условно-эссенциальные микроэлементы, мг/кг				
B	0,083 ± 0,0002	0,182 ± 0,0041*	0,108 ± 0,0018*	0,089 ± 0,0002*
Co	0,028 ± 0,0003	0,020 ± 0,0003*	0,024 ± 0,0004*	0,022 ± 0,0003*
Cr	1,650 ± 0,0151	1,314 ± 0,0193*	0,924 ± 0,0155*	0,929 ± 0,0120*
Cu	1,709 ± 0,0156	2,096 ± 0,0308*	1,761 ± 0,0296	1,658 ± 0,0214
Fe	0,319 ± 0,0029	0,260 ± 0,0038*	0,265 ± 0,0045*	0,175 ± 0,0023*
Mn	1,594 ± 0,0146	0,749 ± 0,0110*	1,165 ± 0,0196	0,927 ± 0,0120*
Se	1,304 ± 0,0119	1,389 ± 0,0205*	1,270 ± 0,0214	1,220 ± 0,0158*
Zn	35,004 ± 0,3195	48,163 ± 0,7089*	40,101 ± 0,6750*	39,344 ± 0,5079*
Макроэлементы, г/кг				
Ca	0,183 ± 0,0017	0,227 ± 0,0033*	0,224 ± 0,0038*	0,222 ± 0,0029*
K	10,144 ± 0,0926	10,189 ± 0,1500	9,492 ± 0,1598*	10,617 ± 0,1371*
Mg	0,775 ± 0,0071	0,768 ± 0,0113	0,746 ± 0,0126	0,776 ± 0,0100
Na	1,994 ± 0,0182	2,103 ± 0,0310*	2,080 ± 0,0350	2,047 ± 0,0264
Токсические элементы, мг/кг				
Al	29,106 ± 0,2657	20,087 ± 0,1485*	21,534 ± 0,3625*	38,358 ± 0,4952*
Cd	0,332 ± 0,0030	0,378 ± 0,0056*	0,353 ± 0,0059*	0,327 ± 0,0042
Pb	2,575 ± 0,0235	1,864 ± 0,0024*	2,010 ± 0,0221*	1,903 ± 0,0762*
Sr	0,179 ± 0,0007	0,248 ± 0,0036*	0,168 ± 0,0028*	0,139 ± 0,0018*

Примечание. * P ≤ 0,05.

Table 5

Elemental composition of the femoral muscle of broiler chickens

Element	Group			
	Control	I experimental	II experimental	III experimental
Essential and conditionally essential trace elements, mg/kg				
B	0.083 ± 0.0002	0.182 ± 0.0041*	0.108 ± 0.0018*	0.089 ± 0.0002*
Co	0.028 ± 0.0003	0.020 ± 0.0003*	0.024 ± 0.0004*	0.022 ± 0.0003*
Cr	1.650 ± 0.0151	1.314 ± 0.0193*	0.924 ± 0.0155*	0.929 ± 0.0120*
Cu	1.709 ± 0.0156	2.096 ± 0.0308*	1.761 ± 0.0296	1.658 ± 0.0214
Fe	0.319 ± 0.0029	0.260 ± 0.0038*	0.265 ± 0.0045*	0.175 ± 0.0023*
Mn	1.594 ± 0.0146	0.749 ± 0.0110*	1.165 ± 0.0196	0.927 ± 0.0120*
Se	1.304 ± 0.0119	1.389 ± 0.0205*	1.270 ± 0.0214	1.220 ± 0.0158*
Zn	35.004 ± 0.3195	48.163 ± 0.7089*	40.101 ± 0.6750*	39.344 ± 0.5079*
Macroelements, g/kg				
Ca	0.183 ± 0.0017	0.227 ± 0.0033*	0.224 ± 0.0038*	0.222 ± 0.0029*
K	10.144 ± 0.0926	10.189 ± 0.1500	9.492 ± 0.1598*	10.617 ± 0.1371*
Mg	0.775 ± 0.0071	0.768 ± 0.0113	0.746 ± 0.0126	0.776 ± 0.0100
Na	1.994 ± 0.0182	2.103 ± 0.0310*	2.080 ± 0.0350	2.047 ± 0.0264
Toxic elements, mg/kg				
Al	29.106 ± 0.2657	20.087 ± 0.1485*	21.534 ± 0.3625*	38.358 ± 0.4952*
Cd	0.332 ± 0.0030	0.378 ± 0.0056*	0.353 ± 0.0059*	0.327 ± 0.0042
Pb	2.575 ± 0.0235	1.864 ± 0.0024*	2.010 ± 0.0221*	1.903 ± 0.0762*
Sr	0.179 ± 0.0007	0.248 ± 0.0036*	0.168 ± 0.0028*	0.139 ± 0.0018*

Note. * P ≤ 0.05.

Элемент	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Эссенциальные и условно-эссенциальные микроэлементы, мг/кг				
B	0,650 ± 0,0059	1,405 ± 0,0501*	1,279 ± 0,0215*	0,751 ± 0,0097*
Co	0,062 ± 0,0006	0,077 ± 0,0011*	0,062 ± 0,0010	0,065 ± 0,0008*
Cr	2,690 ± 0,0246	2,840 ± 0,0418*	2,325 ± 0,0391*	2,297 ± 0,0296*
Cu	11,428 ± 0,1043	12,886 ± 0,1897*	11,396 ± 0,1918	11,615 ± 0,1499
Fe	1,033 ± 0,0094	1,542 ± 0,0227*	1,072 ± 0,0181	1,231 ± 0,0159*
Mn	9,663 ± 0,0882	12,230 ± 0,1800*	8,203 ± 0,1381*	10,031 ± 0,1295
Se	2,707 ± 0,0247	2,695 ± 0,0397	1,944 ± 0,0327*	2,583 ± 0,0333*
Zn	90,057 ± 0,8221	98,233 ± 1,4460*	99,089 ± 1,6679*	93,000 ± 1,2006
Макроэлементы, г/кг				
Ca	0,200 ± 0,0018	0,269 ± 0,0040*	0,221 ± 0,0037*	0,199 ± 0,0026
Mg	0,620 ± 0,0057	0,852 ± 0,0125*	0,704 ± 0,0118*	0,636 ± 0,0082
Na	2,604 ± 0,0238	3,660 ± 0,0539*	3,274 ± 0,0551*	3,062 ± 0,0395*
Токсические элементы, мг/кг				
Al	84,92 ± 77,5051	116,4 ± 171,849	97,48 ± 164,865*	90,55 ± 117,474*
Cd	0,355 ± 0,0032	0,359 ± 0,0053	0,364 ± 0,0061	0,362 ± 0,0047
Pb	2,159 ± 0,0197	2,256 ± 0,0332*	2,863 ± 0,0482*	3,558 ± 0,0459*
Sr	0,178 ± 0,0016	0,295 ± 0,0043*	0,184 ± 0,0031	0,149 ± 0,0019*

Примечание. * P ≤ 0,05.

Table 6
Elemental composition of the liver of broiler chickens

Element	Group			
	Control	I experimental	II experimental	III experimental
Essential and conditionally essential trace elements, mg/kg				
B	0.650 ± 0.0059	1.405 ± 0.0501*	1.279 ± 0.0215*	0.751 ± 0.0097*
Co	0.062 ± 0.0006	0.077 ± 0.0011*	0.062 ± 0.0010	0.065 ± 0.0008*
Cr	2.690 ± 0.0246	2.840 ± 0.0418*	2.325 ± 0.0391*	2.297 ± 0.0296*
Cu	11.428 ± 0.1043	12.886 ± 0.1897*	11.396 ± 0.1918	11.615 ± 0.1499
Fe	1.033 ± 0.0094	1.542 ± 0.0227*	1.072 ± 0.0181	1.231 ± 0.0159*
Mn	9.663 ± 0.0882	12.230 ± 0.1800*	8.203 ± 0.1381*	10.031 ± 0.1295
Se	2.707 ± 0.0247	2.695 ± 0.0397	1.944 ± 0.0327*	2.583 ± 0.0333*
Zn	90.057 ± 0.8221	98.233 ± 1.4460*	99.089 ± 1.6679*	93.000 ± 1.2006
Macroelements, g/kg				
Ca	0.200 ± 0.0018	0.269 ± 0.0040*	0.221 ± 0.0037*	0.199 ± 0.0026
Mg	0.620 ± 0.0057	0.852 ± 0.0125*	0.704 ± 0.0118*	0.636 ± 0.0082
Na	2.604 ± 0.0238	3.660 ± 0.0539*	3.274 ± 0.0551*	3.062 ± 0.0395*
Toxic elements, mg/kg				
Al	84.92 ± 77.5051	116.4 ± 171.849	97.48 ± 164.865*	90.55 ± 117.474*
Cd	0.355 ± 0.0032	0.359 ± 0.0053	0.364 ± 0.0061	0.362 ± 0.0047
Pb	2.159 ± 0.0197	2.256 ± 0.0332*	2.863 ± 0.0482*	3.558 ± 0.0459*
Sr	0.178 ± 0.0016	0.295 ± 0.0043*	0.184 ± 0.0031	0.149 ± 0.0019*

Note. * P ≤ 0.05.

Включение кверцетина в различных дозировках в рационы цыплят-бройлеров в настоящем исследовании оказало разнонаправленное действие на жирнокислотный состав мышечных тканей. Анализ литературных источников по данной проблематике показал, что скармливание 80 мг/кг богатого антоцианами фиолетового кукурузного пигмента может улучшить концентрацию жирных кислот в мышцах, особенно уровень полиненасыщенных жирных кис-

лот (ПНЖК), у растущих цыплят [31]. Данная закономерность может быть связана с уникальностью состава водорода в антоцианах кверцетина, атомы которого могут легко переходить к липидным радикалам и предотвращать окисление липидов [32; 33, с. 705]. Кроме того, антоцианы могут усиливать экспрессию генов антиоксидантов и подавлять экспрессию воспалительных генов в мышцах [34–37]. Также установлено, что выработка жирных кислот

снижалась с увеличением в рационах бройлеров уровня кверцетина и α -токоферола дозозависимым образом, однако снижение содержания насыщенных (НЖК) жирных кислот было более выраженным, чем снижение содержания полиненасыщенных жирных кислот в грудной мышце подопытных бройлеров [38, с. 61]. Ряд авторов отмечает, что пищевые добавки кверцетина в дозе 200 мг/кг корма значительно снижает выработку пальмитиновой, олеиновой и линолевой кислот в грудных мышцах бройлеров [39, с. 2850; 40, с. 767; 41]. Однако следует отметить, что в нашем эксперименте изменения содержания данных жирных кислот не имели достоверных различий, а следовательно, имеется необходимость продолжить исследования для выявления механизмов, лежащих в основе изменений профиля жирных кислот в мясе цыплят-бройлеров.

В подавляющей части исследований продемонстрирована положительная динамика накопления минеральных элементов в съедобных частях тела подопытной птицы при введении в рацион расти-

тельных компонентов [42, с. 31]. Похожие результаты были получены в нашем эксперименте при анализе минерального состава грудных мышц. Основываясь на ранее проведенных исследованиях, можно предположить, что причиной повышения концентраций отдельных химических элементов в образцах мышечной ткани при включении кверцетина может являться увеличение конверсии минеральных веществ корма в мясо путем избирательного воздействия испытуемых добавок на полезную микробиоту кишечника в процессе функционирования пищеварительной системы бройлеров [43, с. 2488; 44].

Таким образом, добавление кверцетина в рацион подопытных цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres может оказывать различное влияние на их организм. В частности, способствует улучшению биологической ценности мышечной ткани цыплят-бройлеров, увеличивая ряд незаменимых аминокислот, ненасыщенных жирных кислот и важных макро- и микроэлементов.

Библиографический список

1. Petracci M., Mudalal S., Soglia F., Cavani C. Meat quality in fast-growing broiler chickens // *World's Poultry Science Journal*. 2015. Vol. 71. No. 2. Pp. 363–374. DOI: 10.1017/S0043933915000367.
2. Choi J., Kim W. K. Dietary application of tannins as a potential mitigation strategy for current challenges in poultry production: A review // *Animals*. 2020. Vol. 10. No. 12. Article number 2389. DOI: 10.3390/ani10122389.
3. Mir N. A., Rafiq A., Kumar F., Singh V., Shukla V. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: A review // *Journal of Food Science and Technology*. 2017. Vol. 54. No. 10. Pp. 2997–3009. DOI: 10.1007/s13197-017-2789-z.
4. Choi J., Kong B., Bowker B. C., Zhuang H., Kim W. K. Nutritional Strategies to Improve Meat Quality and Composition in the Challenging Conditions of Broiler Production: A Review // *Animals*. 2023. Vol. 13. No. 8. Article number 1386. DOI: 10.3390/ani13081386.
5. Choi J., Marshall B., Ko H., Shi H., Singh A. K., Thippareddi H., Holladay S., Gogal R. M., Jr., Kim W. K. Antimicrobial and immunomodulatory effects of tannic acid supplementation in broilers infected with *Salmonella Typhimurium* // *Poultry Science*. 2022. Vol. 101. No. 11. Article number 102111. DOI: 10.1016/j.psj.2022.102111.
6. Choi J., Tompkins Y. H., Teng P.-Y., Gogal R. M., Jr., Kim W. K. Effects of Tannic Acid Supplementation on Growth Performance, Oocyst Shedding, and Gut Health of in Broilers Infected with *Eimeria Maxima* // *Animals*. 2022. Vol. 12. No. 11. Article number 1378. DOI: 10.3390/ani12111378.
7. Choi J., Singh A. K., Chen X., Lv J., Kim W. K. Application of Organic Acids and Essential Oils as Alternatives to Antibiotic Growth Promoters in Broiler Chickens // *Animals*. 2022. Vol. 12. No. 17. Article number 2178. DOI: 10.3390/ani12172178.
8. Soldado D., Bessa R. J., Jerónimo E. Condensed tannins as antioxidants in ruminants – Effectiveness and action mechanisms to improve animal antioxidant status and oxidative stability of products // *Animals*. 2021. Vol. 11. No. 11. Article number 3243. DOI: 10.3390/ani11113243.
9. Shen M., Zhang L., Chen Y., Zhang Y., Han H., Niu Y., He J., Zhang Y., Cheng Y., Wang T. Effects of bamboo leaf extract on growth performance, meat quality, and meat oxidative stability in broiler chickens // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98. No. 12. Pp. 6787–6796. DOI: 10.3382/ps/pez404.
10. Shen Y., Ward N. C., Hodgson J. M., Puddey I. B., Wang Y., Zhang D., Maghzal G. J., Stocker R., Croft K. D. Dietary quercetin attenuates oxidant-induced endothelial dysfunction and atherosclerosis in apolipoprotein E knockout mice fed a high-fat diet: A critical role for heme oxygenase-1 // *Free Radical Biology and Medicine*. 2013. Vol. 65. Pp. 908–915. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2013.08.185.
11. Luo M., Tian R., Yang Z., Peng Y. Y., Lu N. Quercetin suppressed NADPH oxidase-derived oxidative stress via heme oxygenase-1 induction in macrophages // *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2019. Vol. 671. Pp. 69–76. DOI: 10.1016/j.abb.2019.06.007.

12. Karuppagounder V., Arumugam S., Thandavarayan R. A., Sreedhar R., Giridharan V. V., Watanabe K. Molecular targets of quercetin with anti-inflammatory properties in atopic dermatitis // *Drug Discovery Today*. 2016. Vol. 21. No. 4. Pp. 632–639. DOI: 10.1016/j.drudis.2016.02.011.
13. Zhang Y., Zhang W., Tao L., Zhai J., Gao H., Song Y., Qu X. Quercetin protected against isoniazide-induced HepG2 cell apoptosis by activating the SIRT1/ERK pathway // *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*. 2019. Vol. 33. No. 9. Article number e22369. DOI: 10.1002/jbt.22369.
14. Duskaev G., Kurilkina M., Zavyalov O. Growth-stimulating and antioxidant effects of vanillic acid on healthy broiler chickens // *Veterinary World*. 2023. Vol. 16 (3). Pp. 518–525. DOI: 10.14202/vetworld.2023.518-525.
15. Bournival J., Plouffe M., Renaud J., Provencher C., Martinoli M. G. Quercetin and sesamin protect dopaminergic cells from MPP⁺-induced neuroinflammation in a microglial (N9)-neuronal (PC12) coculture system // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2012. Vol. 2012. Article number 921941. DOI: 10.1155/2012/921941.
16. Sun L., Xu G., Dong Y., Li M., Yang L., Lu W. Quercetin Protects Against Lipopolysaccharide-Induced Intestinal Oxidative Stress in Broiler Chickens through Activation of Nrf2 Pathway // *Molecules*. 2020. Vol. 25 (5). Article number 1053. DOI: 10.3390/molecules25051053.
17. Choi J., Kong B., Bowker B. C., Zhuang H., Kim W. K. Nutritional Strategies to Improve Meat Quality and Composition in the Challenging Conditions of Broiler Production: A Review // *Animals*. 2023. Vol. 13 (8). Article number 1386. DOI: 10.3390/ani13081386.
18. Кормление сельскохозяйственной птицы / В. И. Фисинин [и др.]. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2010. 276 с.
19. Переработка мяса птицы и кроликов Величко: учебное пособие / Е. А. Рыгалова [и др.]. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. 362 с.
20. Umeno A., Horie M., Murotomi K., Nakajima Y., Youshida Y. Antioxidative and antidiabetic effects of natural polyphenols and isoflavones // *Molecules*. 2016. Vol. 21. No. 6. Article number 708. DOI: 10.3390/molecules21060708.
21. Lee N., Kwak H. S., Joo J. Y., Kang J., Lee Y. Effects of partial replacement of pork meat with chicken or duck meat on the texture, flavor, and consumer acceptance of sausage // *Journal of Food Quality*. 2018. Vol. 2018. No. 4. DOI: 10.1155/2018/6972848.
22. Park J., Kim I. Effects of dietary *Achyranthes japonica* extract supplementation on the growth performance, total tract digestibility, cecal microflora, excreta noxious gas emission, and meat quality of broiler chickens // *Poultry Science*. 2020. Vol. 99 (1). Pp. 463–470. DOI: 10.3382/ps/pez533.
23. Huang J., Zhang Y., Zhou Y., Zhang Z., Xie Z., Zhang J., Wan X. Green tea polyphenols alleviate obesity in broiler chickens through the regulation of lipid-metabolism-related genes and transcription factor expression // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013. Vol. 61 (36). Pp. 8565–8572. DOI: 10.1021/jf402004x.
24. Choi J., Yadav S., Wang J., Lorentz B. J., Lourenco J. M., Callaway T. R., Kim W. K. Effects of supplemental tannic acid on growth performance, gut health, microbiota, and fat accumulation and optimal dosages of tannic acid in broilers // *Frontiers in Physiology*. 2022. Vol. 13. Article number 912797. DOI: 10.3389/fphys.2022.912797.
25. Vaithyanathan S., Naveena B. M., Muthukumar M., Girish P. S., Kondaiah N. Effect of dipping in pomegranate (*Punica granatum*) fruit juice phenolic solution on the shelf life of chicken meat under refrigerated storage (4 °C) // *Meat Science*. 2011. Vol. 88. No. 3. Pp. 409–414. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.01.019.
26. Estévez M. Oxidative damage to poultry: From farm to fork // *Poultry Science*. 2015. Vol. 94. No. 6. Pp. 1368–1378. DOI: 10.3382/ps/pev094.
27. Ji Y., Liu D., Jin Y., Zhao J., Wang H. In vitro and in vivo inhibitory effect of anthocyanin-rich bilberry extract on α -glucosidase and α -amylase // *LWT – Food Science and Technology*. 2021. Vol. 145. Article number 111484. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111484.
28. Tian X. Z., Paengkoum P., Paengkoum S., Thongpe S., Ban C. Comparison of forage yield, silage fermentative quality, anthocyanin stability, antioxidant activity, and in vitro rumen fermentation of anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) stover and sticky corn stover // *Journal of integrative agriculture*. 2018. Vol. 17. Pp. 2082–2095. DOI: 10.1016/S2095-3119(18)61970-7.
29. Haščík P., Pavelková A., Tkáová J., Čuboň J., Kačániová M., Habánová M., Mlyneková E. The amino acid profile of broiler chicken meat after dietary administration of bee products and probiotics // *Biologia*. 2020. Vol. 75. Pp. 1899–1908. DOI: 10.2478/s11756-020-00451-9.
30. Osman A., Al-Gabri N.A., Amer S.A. Effects of Phenolic-Rich Onion (*Allium cepa* L.) Extract on the Growth Performance, Behavior, Intestinal Histology, Amino Acid Digestibility, Antioxidant Activity, and the Immune Status of Broiler Chickens // *Frontiers in Veterinary Science*. 2020. Vol. 7. Article number 582612. DOI: 10.3389/fvets.2020.582612.

31. Luo Q., Li J., Li H., Zhou D., Wang X., Tian Y., Qin J., Tian X., Lu Q. The Effects of Purple Corn Pigment on Growth Performance, Blood Biochemical Indices, Meat Quality, Muscle Amino Acids, and Fatty Acids of Growing Chickens // *Foods*. 2022. Vol. 11. No. 13. Article number 1870. DOI: 10.3390/foods11131870.
32. Tian X. Z., Wang X., Ban C., Luo Q. Y., Li J. X., Lu Q. Effect of Purple Corn Anthocyanin on Antioxidant Activity, Volatile Compound and Sensory Property in Milk During Storage and Light Prevention // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. Article number 862689. DOI: 10.3389/fnut.2022.862689.
33. Boschetti E., Bordoni A., Meluzzi A., Castellini C., Dal Bosco A., Sirri F. Fatty acid composition of chicken breast meat is dependent on genotype-related variation of FADS1 and FADS2 gene expression and desaturating activity // *Animal*. 2016. Vol. 10. No. 4. Pp. 700–708. DOI: 10.1017/S1751731115002712.
34. Jiang H., Zhang W., Li X., Xu Y., Cao J., Jiang W. The anti-obesogenic effects of dietary berry fruits: A review // *Food Research International*. 2021. Vol. 147. Article number 110539. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110539.
35. Tian X. Z., Xin H. L., Paengkoum P., Siwaporn P., Ban C., Sorasak T. Effects of anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) stover silage on nutrient utilization, rumen fermentation, plasma antioxidant capacity, and mammary gland gene expression in dairy goats // *Journal of Animal Science*. 2019. Vol. 97 (3). Pp. 1384–1397. DOI: 10.1093/jas/sky477.
36. Da Silva Frasao B., Lima Dos Santos Rosario A. I., Leal Rodrigues B., Abreu Bitti H., Diogo Baltar J., Nogueira R. I., Pereira da Costa M., Conte-Junior C. A. Impact of juçara (*Euterpe edulis*) fruit waste extracts on the quality of conventional and antibiotic-free broiler meat // *Poultry Science*. 2021. Vol. 100. No. 8. Article number 101232. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101232.
37. Amer S. A., Al-Khalafah H. S., Gouda A., Osman A., Goda N. I. A., Mohammed H. A., Darwish M. I. M., Hassan A. M., Mohamed S. K. A. Potential Effects of Anthocyanin-Rich Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Extract on the Growth, Intestinal Histomorphology, Blood Biochemical Parameters, and the Immune Status of Broiler Chickens // *Antioxidants*. 2022. Vol. 11 (3). Article number 544. DOI: 10.3390/antiox11030544.
38. Sohaib M., Butt M. S., Shabbir M. A., Shahid M. Lipid stability, antioxidant potential and fatty acid composition of broilers breast meat as influenced by quercetin in combination with α -tocopherol enriched diets // *Lipids in Health and Disease*. 2015. Vol. 14. Article number 61. DOI: 10.1186/s12944-015-0058-6.
39. De Boer V. C., van Schothorst E. M., Dihal A. A., van der Woude H., Arts I. C., Rietjens I. M., Hollman P. C., Keijer J. Chronic quercetin exposure affects fatty acid catabolism in rat lung // *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2006. Vol. 63 (23). Pp. 2847–2858. DOI: 10.1007/s00018-006-6316-z.
40. Gnani G., Paglialonga G., Siculella L. Quercetin inhibits fatty acid and triacylglycerol synthesis in rat-liver cells // *European Journal of Clinical Investigation*. 2009. Vol. 2009. No. 39. Pp. 761–768. DOI: 10.1111/j.1365-2362.2009.02167.x.
41. 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. Vol. 26. No. 1. Article number 208. DOI: 10.3390/molecules26010208.
42. Herkeľ R., Gálik B., Bíro D., Rolinec M., Šimko M., Juráček M., Arpášová H., Wilkanowska A. The effect of a phyto-genic additive on nutritional composition of turkey meat // *Journal of Central European Agriculture*. 2016. Vol. 17. No. 1. Pp. 25–39. DOI: 10.5513/JCEA01/17.1.1664.
43. 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. Vol. 13 (11). Pp. 2484–2492. DOI: 10.14202/vetworld.2020.2484-2492.
44. Himoto T., Masaki T. Current Trends of Essential Trace Elements in Patients with Chronic Liver Diseases // *Nutrients*. 2020. Vol. 12. No. 7. Article number 2084. DOI: 10.3390/nu12072084.

Об авторах:

Марина Яковлевна Курилкина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ORCID 0000-0003-0253-7867, AuthorID 623232. *E-mail: k_marina4@mail.ru*

Шамиль Гафиуллинович Рахматуллин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ORCID 0000-0003-0143-9499, AuthorID 614439. *E-mail: shahm2005@mail.ru*

Галимжан Калиханович Дускаев, доктор биологических наук, первый заместитель директора, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ORCID 0000-0002-9015-8367, AuthorID 316084. *E-mail: gduskaev@mail.ru*

References

1. Petracci M., Mudalal S., Soglia F., Cavani C. Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*. 2015; 71 (2): 363–374. DOI: 10.1017/S0043933915000367.
2. Choi J., Kim W.K. Dietary application of tannins as a potential mitigation strategy for current challenges in poultry production: A review. *Animals*. 2020; 10 (12): 2389. DOI: 10.3390/ani10122389.
3. Mir N. A., Rafiq A., Kumar F., Singh V., Shukla V. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: A review. *Journal of Food Science and Technology*. 2017; 54 (10): 2997–3009. DOI: 10.1007/s13197-017-2789-z.
4. Choi J., Kong B., Bowker B. C., Zhuang H., Kim W. K. Nutritional Strategies to Improve Meat Quality and Composition in the Challenging Conditions of Broiler Production: A Review. *Animals*. 2023; 13 (8): 1386. DOI: 10.3390/ani13081386.
5. Choi J., Marshall B., Ko H., Shi H., Singh A. K., Thippareddi H., Holladay S., Gogal R. M., Jr., Kim W. K. Antimicrobial and immunomodulatory effects of tannic acid supplementation in broilers infected with *Salmonella Typhimurium*. *Poultry Science*. 2022; 101 (11): 102111. DOI: 10.1016/j.psj.2022.102111.
6. Choi J., Tompkins Y. H., Teng P.-Y., Gogal R. M., Jr., Kim W. K. Effects of Tannic Acid Supplementation on Growth Performance, Oocyst Shedding, and Gut Health of in Broilers Infected with *Eimeria Maxima*. *Animals*. 2022; 12 (11): 1378. DOI: 10.3390/ani12111378.
7. Choi J., Singh A.K., Chen X., Lv J., Kim W.K. Application of Organic Acids and Essential Oils as Alternatives to Antibiotic Growth Promoters in Broiler Chickens. *Animals*. 2022; 12 (17): 2178. DOI: 10.3390/ani12172178.
8. Soldado D., Bessa R. J., Jerónimo E. Condensed tannins as antioxidants in ruminants – Effectiveness and action mechanisms to improve animal antioxidant status and oxidative stability of products. *Animals*. 2021; 11 (11): 3243. DOI: 10.3390/ani11113243.
9. Shen M., Zhang L., Chen Y., Zhang Y., Han H., Niu Y., He J., Zhang Y., Cheng Y., Wang T. Effects of bamboo leaf extract on growth performance, meat quality, and meat oxidative stability in broiler chickens. *Poultry Science*. 2019; 98 (12): 6787–6796. DOI: 10.3382/ps/pez404.
10. Shen Y., Ward N. C., Hodgson J. M., Puddey I. B., Wang Y., Zhang D., Maghzal G. J., Stocker R., Croft K. D. Dietary quercetin attenuates oxidant-induced endothelial dysfunction and atherosclerosis in apolipoprotein E knockout mice fed a high-fat diet: A critical role for heme oxygenase-1. *Free Radical Biology and Medicine*. 2013; 65: 908–915. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2013.08.185.
11. Luo M., Tian R., Yang Z., Peng Y. Y., Lu N. Quercetin suppressed NADPH oxidase-derived oxidative stress via heme oxygenase-1 induction in macrophages. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2019; 671: 69–76. DOI: 10.1016/j.abb.2019.06.007.
12. Karuppagounder V., Arumugam S., Thandavarayan R. A., Sreedhar R., Giridharan V. V., Watanabe K. Molecular targets of quercetin with anti-inflammatory properties in atopic dermatitis. *Drug Discovery Today*. 2016; 21 (4): 632–639. DOI: 10.1016/j.drudis.2016.02.011.
13. Zhang Y., Zhang W., Tao L., Zhai J., Gao H., Song Y., Qu X. Quercetin protected against isoniazide-induced HepG2 cell apoptosis by activating the SIRT1/ERK pathway. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*. 2019; 33 (9): e22369. DOI: 10.1002/jbt.22369.
14. Duskaev G., Kurilkina M., Zavyalov O. Growth-stimulating and antioxidant effects of vanillic acid on healthy broiler chickens. *Veterinary World*. 2023; 16 (3): 518–525. DOI: 10.14202/vetworld.2023.518-525.
15. Bournival J., Plouffe M., Renaud J., Provencher C., Martinoli M. G. Quercetin and sesamin protect dopaminergic cells from MPP⁺-induced neuroinflammation in a microglial (N9)-neuronal (PC12) coculture system. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2012; 2012: 921941. DOI: 10.1155/2012/921941.
16. Sun L., Xu G., Dong Y., Li M., Yang L., Lu W. Quercetin Protects Against Lipopolysaccharide-Induced Intestinal Oxidative Stress in Broiler Chickens through Activation of Nrf2 Pathway. *Molecules*. 2020; 25 (5): 1053. DOI: 10.3390/molecules25051053.
17. Choi J., Kong B., Bowker B. C., Zhuang H., Kim W. K. Nutritional Strategies to Improve Meat Quality and Composition in the Challenging Conditions of Broiler Production: A Review. *Animals*. 2023; 13 (8): 1386. DOI: 10.3390/ani13081386.
18. *Feeding poultry* / V. I. Fisinin et al. Sergiev Posad: VNITIP, 2010. 276 p. (In Russ.)
19. *Processing of poultry meat and rabbits Velichko study guide* / E. A. Rygalova et al. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2021. 362 p. (In Russ.)
20. Umeno A., Horie M., Murotomi K., Nakajima Y., Youshida Y. Antioxidative and antidiabetic effects of natural polyphenols and isoflavones. *Molecules*. 2016; 21 (6): 708. DOI: 10.3390/molecules21060708.

21. Lee N., Kwak H. S., Joo J. Y., Kang J., Lee Y. Effects of partial replacement of pork meat with chicken or duck meat on the texture, flavor, and consumer acceptance of sausage. *Journal of Food Quality*. 2018; 2018 (4). DOI: 10.1155/2018/6972848.
22. Park J., Kim I. Effects of dietary *Achyranthes japonica* extract supplementation on the growth performance, total tract digestibility, cecal microflora, excreta noxious gas emission, and meat quality of broiler chickens. *Poultry Science*. 2020; 99 (1): 463–470. DOI: 10.3382/ps/pez533.
23. Huang J., Zhang Y., Zhou Y., Zhang Z., Xie Z., Zhang J., Wan X. Green tea polyphenols alleviate obesity in broiler chickens through the regulation of lipid-metabolism-related genes and transcription factor expression. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013; 61 (36): 8565–8572. DOI: 10.1021/jf402004x.
24. Choi J., Yadav S., Wang J., Lorentz B. J., Lourenco J. M., Callaway T. R., Kim W. K. Effects of supplemental tannic acid on growth performance, gut health, microbiota, and fat accumulation and optimal dosages of tannic acid in broilers. *Frontiers in Physiology*. 2022; 13: 912797. DOI: 10.3389/fphys.2022.912797.
25. Vaithyanathan S., Naveena B. M., Muthukumar M., Girish P. S., Kondaiah N. Effect of dipping in pomegranate (*Punica granatum*) fruit juice phenolic solution on the shelf life of chicken meat under refrigerated storage (4 °C). *Meat Science*. 2011; 88 (3): 409–414. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.01.019.
26. Estévez M. Oxidative damage to poultry: From farm to fork. *Poultry Science*. 2015; 94 (6): 1368–1378. DOI: 10.3382/ps/pev094.
27. Ji Y., Liu D., Jin Y., Zhao J., Wang H. In vitro and in vivo inhibitory effect of anthocyanin-rich bilberry extract on α -glucosidase and α -amylase. *LWT – Food Science and Technology*. 2021; 145: 111484. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111484.
28. Tian X. Z., Paengkoum P., Paengkoum S., Thongpe S., Ban C. Comparison of forage yield, silage fermentative quality, anthocyanin stability, antioxidant activity, and in vitro rumen fermentation of anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) stover and sticky corn stover // *Journal of Integrative Agriculture*. 2018; 17: 2082–2095. DOI: 10.1016/S2095-3119(18)61970-7.
29. Haščík P., Pavelková A., Tkálová J., Čuboň J., Kačániová M., Habánová M., Mlyneková E. The amino acid profile of broiler chicken meat after dietary administration of bee products and probiotics. *Biologia*. 2020; 75: 1899–1908. DOI: 10.2478/s11756-020-00451-9.
30. Osman A., Al-Gabri N. A., Amer S. A. Effects of Phenolic-Rich Onion (*Allium cepa* L.) Extract on the Growth Performance, Behavior, Intestinal Histology, Amino Acid Digestibility, Antioxidant Activity, and the Immune Status of Broiler Chickens. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020; 7: 582612. DOI: 10.3389/fvets.2020.582612.
31. Luo Q., Li J., Li H., Zhou D., Wang X., Tian Y., Qin J., Tian X., Lu Q. The Effects of Purple Corn Pigment on Growth Performance, Blood Biochemical Indices, Meat Quality, Muscle Amino Acids, and Fatty Acids of Growing Chickens. *Foods*. 2022; 11 (13): 1870. DOI: 10.3390/foods11131870.
32. Tian X. Z., Wang X., Ban C., Luo Q. Y., Li J. X., Lu Q. Effect of Purple Corn Anthocyanin on Antioxidant Activity, Volatile Compound and Sensory Property in Milk During Storage and Light Prevention. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 862689. DOI: 10.3389/fnut.2022.862689.
33. Boschetti E., Bordoni A., Meluzzi A., Castellini C., Dal Bosco A., Sirri F. Fatty acid composition of chicken breast meat is dependent on genotype-related variation of FADS1 and FADS2 gene expression and desaturating activity. *Animal*. 2016; 10 (4): 700–708. DOI: 10.1017/S1751731115002712.
34. Jiang H., Zhang W., Li X., Xu Y., Cao J., Jiang W. The anti-obesogenic effects of dietary berry fruits: A review. *Food Research International*. 2021; 147: 110539. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110539.
35. Tian X. Z., Xin H. L., Paengkoum P., Siwaporn P., Ban C., Sorasak T. Effects of anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) stover silage on nutrient utilization, rumen fermentation, plasma antioxidant capacity, and mammary gland gene expression in dairy goats. *Journal of Animal Science*. 2019; 97 (3): 1384–1397. DOI: 10.1093/jas/sky477.
36. Da Silva Frasao B., Lima Dos Santos Rosario A. I., Leal Rodrigues B., Abreu Bitti H., Diogo Baltar J., Nogueira R. I., Pereira da Costa M., Conte-Junior C. A. Impact of juçara (*Euterpe edulis*) fruit waste extracts on the quality of conventional and antibiotic-free broiler meat. *Poultry Science*. 2021; 100 (8): 101232. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101232.
37. Amer S. A., Al-Khalaifah H. S., Gouda A., Osman A., Goda N. I. A., Mohammed H. A., Darwish M. I. M., Hassan A. M., Mohamed S. K. A. Potential Effects of Anthocyanin-Rich Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Extract on the Growth, Intestinal Histomorphology, Blood Biochemical Parameters, and the Immune Status of Broiler Chickens. *Antioxidants*. 2022; 11 (3): 544. DOI: 10.3390/antiox11030544.
38. Sohaib M., Butt M. S., Shabbir M. A., Shahid M. Lipid stability, antioxidant potential and fatty acid composition of broilers breast meat as influenced by quercetin in combination with α -tocopherol enriched diets // *Lipids in Health and Disease*. 2015; 14: 61. DOI: 10.1186/s12944-015-0058-6.

39. De Boer V. C., van Schothorst E. M., Dihal A. A., van der Woude H., Arts I. C., Rietjens I. M., Hollman P. C., Keijer J. Chronic quercetin exposure affects fatty acid catabolism in rat lung. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2006; 63 (23): 2847–2858. DOI: 10.1007/s00018-006-6316-z.

40. Gnoni G., Paglialonga G., Siculella L. Quercetin inhibits fatty acid and triacylglycerol synthesis in rat-liver cells. *European Journal of Clinical Investigation*. 2009; 2009 (39): 761–768. DOI: 10.1111/j.1365-2362.2009.02167.x.

41. 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.

42. Herkeľ R., Gálik B., Bíro D., Rolinec M., Šimko M., Juráček M., Arpášová H., Wilkanowska A. The effect of a phytogetic additive on nutritional composition of turkey meat. *Journal of Central European Agriculture*. 2016; 17 (1): 25–39. DOI: 10.5513/JCEA01/17.1.1664.

43. 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.

44. Himoto T., Masaki T. Current Trends of Essential Trace Elements in Patients with Chronic Liver Diseases. *Nutrients*. 2020; 12 (7): 2084. DOI: 10.3390/nu12072084.

Authors' information:

Marina Ya. Kurilkina, candidate of biological sciences, senior researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ORCID 0000-0003-0253-7867, AuthorID 623232. *E-mail: k_marina4@mail.ru*

Shamil G. Rakhmatullin, candidate of biological sciences, senior researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ORCID 0000-0003-0143-9499, AuthorID 614439. *E-mail: shahm2005@mail.ru*

Galimzhan K. Duskaev, doctor of biological sciences, first deputy director, leading researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ORCID 0000-0002-9015-8367, AuthorID 316084. *E-mail: gduskaev@mail.ru*