

УДК 636.5:577.17

DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-24

Влияние экстракта *Quercus cortex* и ультрадисперсных частиц Fe и Cu на обмен химических элементов в организме цыплят-бройлеров

Е.П. Мирошникова², О.В. Кван¹, Е.В. Шейда^{1,2}, Е.А. Русакова¹

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

²Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)

Аннотация. В работе изучены особенности обмена химических элементов в организме цыплят-бройлеров при дополнительном включении ультрадисперсных частиц (УДЧ) Fe и Cu на фоне введения экстракта коры дуба (ЭКД). Исследования проводились на цыплятах-бройлерах кросса «Арбор-Айкрес» в возрасте от 7-35 дней, в рацион которых вводили биологически активные вещества, содержащие полифенольные соединения в чистом виде, а также их комплексы с ультрадисперсными препаратами Fe и Cu. Анализируя полученные результаты, установлено, что экстракт *Quercus cortex*, ЭКД+УДЧ Fe и Cu способствуют перераспределению химических элементов в организме. При изучении метаболизма условно-эссенциальных и макроэлементов отмечено их увеличение в организме цыплят опытных групп. Положительное влияние изучаемых препаратов достигается также за счёт увеличения выведения из организма животных опытных групп большинства токсичных элементов. Так, отмечено снижение Al – на 55,2; Pb – на 40,2; Cd – на 37,5 и Sn – на 99,2 % при включении УДЧ Fe; Sn – на 99,8; Pb – на 44,3; Al – на 42,7 и Cd – 33,3 % при введении УДЧ Cu; Sn, Al, Pb и Sr – на 99,8; 60,7; 59,8 и 4,57 % при введении в рацион экстракта коры дуба.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, ультрадисперсные частицы, железо, медь, экстракт *Quercus cortex*, элементный обмен.

UDC 636.5:577.17

Effect of *Quercus cortex* extract and ultrafine particles of Fe and Cu on the exchange of chemical elements in body of broiler chickens

Elena P Miroshnikova², Olga V Kwan¹, Elena V Sheyda^{1,2}, Elena A Rusakova¹

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

²Orenburg State University (Orenburg, Russia)

Summary. The paper studies the features of exchange of chemical elements in the body of broiler chickens with the additional inclusion of ultrafine particles (UF) of Fe and Cu against the background of the introduction of an extract of oak bark (EOB). The studies were carried out on broiler chickens of the Arbor Acres cross at the age of 7-35 days, in their diet biologically active substances containing polyphenolic compounds in pure form and their complexes with Fe and Cu ultrafine preparations, were introduced. Analyzing the results obtained, it was found that the extract of *Quercus cortex*, EOB + Fe and Cu UFs contribute to the redistribution of chemical elements in the body. Studying the metabolism of conditionally essential and macroelements, their increase in the body of chickens from the experimental groups was noted. The positive effect of the studied drugs is also achieved due to an increase in the excretion of most toxic elements from the body of animals in the experimental groups. Thus, a decrease in Al was noted - by 55.2; Pb - 40.2; Cd - by 37.5% and Sn - by 99.2% when the UDC Fe is turned on; Sn - 99.8; Pb - by 44.3; Al - by 42.7 and Cd - 33.3% with the introduction of UDP Cu; Sn, Al, Pb and Sr - 99.8; 60.7; 59.8 and 4.57% with the introduction of oak bark extract into the diet.

Key words: broiler chickens, feeding, ultrafine particles, iron, copper, *Quercus cortex* extract, elemental metabolism.

Введение.

Одна из приоритетных задач в птицеводстве на сегодняшний день – здоровый молодняк, максимальная сохранность поголовья. В последнее время для сокращения падежа, уменьшения расхода используемых биопрепаратов в практике стали применять растительные экстракты. Как известно, последние оказывают положительное влияние на иммунный статус сельскохозяйственной птицы (Alipour F et al., 2015; Zhang PF et al., 2017), продуктивность (Mogovat M et al., 2016), рост и развитие (Pirgozliev V et al., 2019), обладают антибактериальными свойствами (Kurekci C et al., 2014; Guo FC et al., 2004) и т. д.

Но в целом проявляется интерес к растительным экстрактам, которые содержат полифенольные вещества (Толмачева А.А., 2015). Они способны стимулировать рост у сельскохозяйственной птицы, снижая при этом риски многих заболеваний и изменяя потребительские свойства получаемых продуктов. Так, в работе Багирова В.А. с соавторами (2018) включение экстракта *Quercus cortex* в рацион цыплятам-бройлерам позволило улучшить убойные характеристики птицы, количество жирных кислот увеличивалось.

Совместное скармливание цыплятам-бройлерам экстракта коры дуба и искусственно синтезированных веществ благоприятно влияет на иммуномодулирующее состояние и антиоксидантную активность организма, увеличивая сохранность поголовья до 100 % и продуктивность – до 15 % (Фисинин В.И. и др., 2018).

Помимо растительных экстрактов, на сегодняшний день перспективный путь развития птицеводства – это поиск и использование новых источников химических элементов, в их числе следует рассматривать ультрадисперсные препараты металлов – микроэлементы с диаметром около 100 нм, которые определяются меньшей токсичностью (Fuxiang W et al., 2008; Xia MS et al., 2016), выраженным продуктивным действием (Яушева Е.В. и Мирошников С.А., 2015), способностью корректировать микробиом животных (Сизова Е.А. и Яушева Е.В., 2019) и другое.

В разных отраслях животноводства получены положительные результаты и внедрены технологии по применению ультрадисперсных частиц в качестве кормовых добавок для оптимизации минерального питания, коррекции обмена веществ (Абузьяров Р.Х. и др., 2002; Папуниди К.Х. и др., 2005; Трemasова А.М. и др., 2012).

Одним из перспективных и малоизученных направлений использования ультрадисперсных частиц является их сочетание с растительными компонентами (Глушкова А.В. и др., 2007; Иванов А.В. и Трemasов М.Я., 2008; Deng H et al., 2018).

В литературных источниках вопрос о совместном применении наноразмерных частиц и растительных экстрактов не только в птицеводстве, но и в животноводстве, раскрыт недостаточно, поэтому данная тематика является актуальной.

Цель исследования.

Изучение влияния растительного экстракта *Quercus cortex* и ультрадисперсных препаратов Cu и Fe на минеральный обмен в организме цыплят-бройлеров.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса «Арбор-Айкрес» в возрасте от 7-35 дневного возраста.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования будут выполнены в соответствии с инструкциями Russian Regulations, 1987 (Order No.755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) и «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1966)». При выполнении исследований были приняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых образцов.

Схема эксперимента. Исследования были проведены в условиях экспериментально-биологической клиники (вивария) на цыплятах-бройлерах кросса «Арбор-Айкрес» в возрасте от 7-35-дневного возраста. Для эксперимента были отобраны 42 головы недельных цыплят-бройлеров, которых методом аналогов разделили на 6 групп (n=7).

В качестве исследуемых ультрадисперсных препаратов были использованы УДЧ Cu и Fe (ООО «Передовые порошковые технологии», г. Томск), материаловедческая аттестация препаратов включала: электронную сканирующую и просвечивающую микроскопию на приборах JSM 7401F и JEM-2000FX («JEOL», Япония). Рентгенофазовый анализ выполнен на дифрактометре ДРОН-7. Дозировка исследуемых ультрадисперсных препаратов – по Sizova E. с соавторами (2020), Сизова Е.А. и Яушева Е.В. (2019).

В составе УДЧ Fe – Fe₃O₄, α, Fe₂O₃. Метод получения – газофазный, удельная поверхность – 15,0 м²/г, гидродинамический радиус: вода – 716±62 нм, этанол – 245±69, Zпотенциал – 15±0,2 мВ, диаметр – 80 нм. УДЧ Cu синтезировали методом высокотемпературной конденсации (установка Миген-3, Институт энергетических проблем химической физики РАН, г. Москва) согласно описанию (Жигач А.Н., 2015). Размер (d) полученных УДЧ – 103±2 нм.

В качестве растительного экстракта был использован экстракт *Quercus cortex*, дозировка и рекомендации по использованию – по Duskaev GK с соавторами (2018).

По истечению подготовительного периода (7-14 суток) птица переведена на условия основного учётного периода (15-35 суток), предполагавшего кормление контрольной группы основным рационом (ОР), I опытной – ОР совместно с УДЧ Fe в дозировке 17 мг/кг, II – ОР совместно с УДЧ Cu в дозировке 1,7 мг/кг корма, III – ОР совместно с экстрактом *Quercus cortex* в дозировке 2 мг/кг корма, IV – ОР+экстракт *Quercus cortex* в дозировке 2 мг/кг корма и УДЧ Cu в дозировке 1,7 мг/кг корма, V – ОР совместно с экстрактом *Quercus cortex* в дозировке 2 мг/кг корма и УДЧ Fe в дозировке 17 мг/кг корма.

Формирование рационов исследуемой птицы – по Фисину В.И. и др. (2004).

Элементный анализ. Элементный состав биосубстратов был изучен с использованием атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии (АЭС-ИСП и МС-ИСП) в испытательной лаборатории АНО «Центр биотической медицины», г. Москва (аттестат аккредитации – ГСЭН. RU.ЦОА.311, регистрационный номер в государственном реестре – Росс. RU 0001.513118 от 29 мая 2003; Registration Certificate of ISO 9001: 2000, Number 4017 – 5.04.06). При выполнении исследований методами АЭС-ИСП и МС-ИСП озоление биосубстратов проводилось с использованием микроволновой системы разложения MD-2000. Оценка содержания элементов в полученной золе осуществлялась с использованием масс-спектрометра Elan 9000 и атомно-эмиссионного спектрометра Optima 2000 V. В общей сложности, было определено содержание 25 химических элементов: Ca, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, As, Cr, K, Na, P, Zn, I, V, Co, Se, Ti, Al, Be, Cd, Pb, Hg, Sn, Sr.

Оборудование и технические средства. Лабораторные весы MS105DU, заводской номер В 346986489, («MettlerToledo», Швейцария), проверенные в соответствии с методикой проверки весов лабораторных MS.ML (Свидетельство о проверке № МТ-1014); масс-спектрометр Elan 9000 («Perkin Elmer», США); атомно-эмиссионный спектрометр Optima 2000 V («Perkin Elmer», США); микроволновая система разложения MD-2000 (США).

Статистическая обработка результатов. Статистическая обработка проводилась с использованием программы «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Анализ включал определение средней арифметической величины (M), стандартной ошибки средней (m). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента, достоверными считали различия при P≤0,05.

Результаты исследований.

Дополнительное включение в рацион исследуемой птицы УДЧ Fe и Cu, а также экстракта коры дуба (ЭКД) и их композиций в рацион повлияло на концентрацию химических элементов в теле бройлеров.

По результатам анализа было установлено, что использование УДЧ Fe в рационе сопровождалось достоверным увеличением концентрации Ca на 78,5 % ($P \leq 0,05$) на фоне снижения концентрации P на 19,3 %; K – на 11,8; Na – на 7,05; Mg – на 15,6 % в теле птицы относительно контрольной группы, однако изменения были недостоверными (рис. 1).

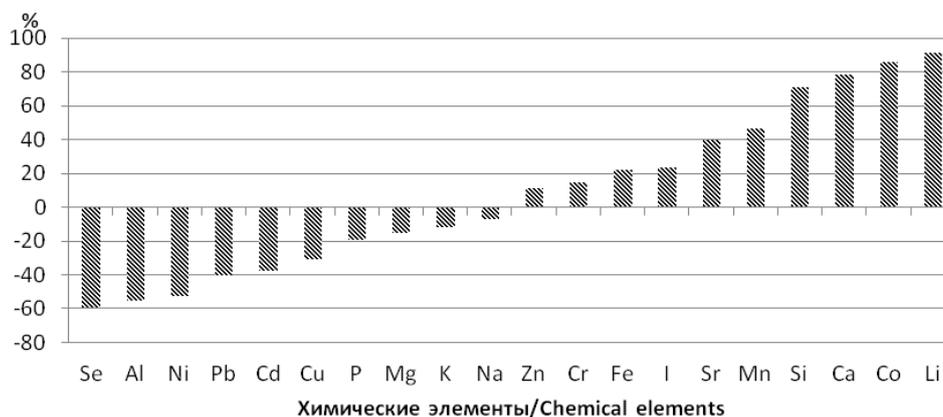


Рис. 1 – Разница уровня химических элементов в I опытной группе относительно контрольной группы, %.

Figure 1 – The difference in the level of chemical elements in the I experimental group relative to the control group, %.

Отмечено увеличение концентрации эссенциальных элементов: Zn – на 10,9; Si – на 70,5; Mn – на 46,7; Fe – на 21,8; Cr – на 14,4; I – на 23,6; Mn – на 46,7, при снижении концентрации Cu на 31,3; Se – на 59,5; Ni – на 52,7 в теле птицы относительно контроля, однако изменения носили недостоверный характер.

При анализе концентрации тяжёлых металлов установлено, что включение УДЧ Fe в рацион способствовало достоверному снижению концентрации Al на 55,2; Pb – на 40,2; Cd – на 37,5 и Sn – на 99,2 % ($P \leq 0,05$) на фоне увеличения содержания Sr на 39,5 % в теле птицы относительно контрольной группы.

Аналогичная тенденция в концентрации макроэлементов наблюдалась при введении УДЧ Cu в рацион, что выражалось в достоверном увеличении содержания Ca на 93,9 % ($P \leq 0,05$) на фоне снижения концентрации P на 14,8; Mg – на 12,5; K – на 7,14 % и незначительного снижения концентрации Na в теле птицы относительно контрольной группы (рис. 2).

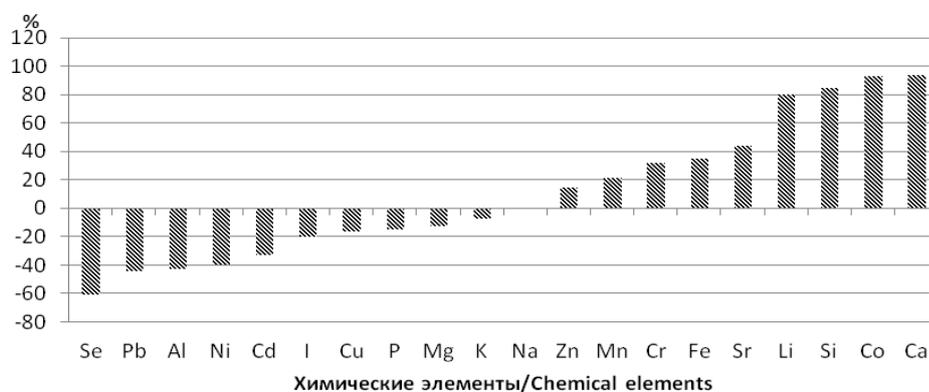


Рис. 2 – Разница уровня химических элементов во II опытной группе относительно контрольной группы, %.

Figure 2 – The difference in the level of chemical elements in the II experimental group relative to the control group, %.

Анализ эссенциальных химических элементов показал достоверное увеличение содержания Si на 84,8; Li – 79,8; Fe – на 34,8; Cr – 32,0; Mn – 21,6 и Zn – на 14,6 % ($P \leq 0,05$) при снижении концентрации Se на 61,2; Ni – на 39,5; I – на 19,9 и Cu – 16,6 % в теле птицы относительно контроля на фоне введения УДЧ Cu в рацион.

Достоверному снижению концентрации Sn на 99,8; Pb – на 44,3; Al – на 42,7 и Cd – 33,3 % ($P \leq 0,05$) при увеличении Sr на 43,6 % в теле подопытной птицы по сравнению с аналогами из контрольной группы способствовало введение НЧ Cu в рацион.

Скармливание ЭКД цыплятам-бройлерам в составе рациона способствовало увеличению концентрации Ca на 30,1 % ($P \leq 0,05$) на фоне снижения P, Mg, K и Na на 19,9; 18,4; 14,3 и 14,1 % соответственно в теле птицы относительно контрольных аналогов (рис. 3).

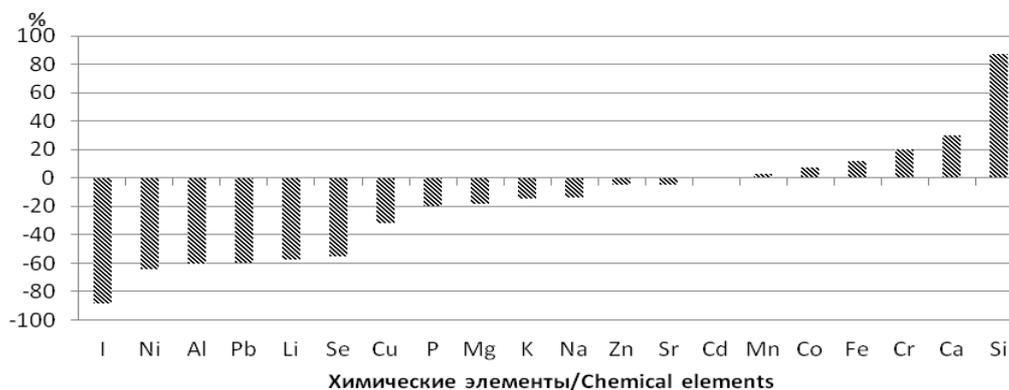


Рис. 3 – Разница уровня химических элементов в III опытной группе относительно контрольной группы, %

Figure 3 – The difference in the level of chemical elements in the III experimental group relative to the control group, %

Концентрации Si, Cr, Fe и Mn были достоверно увеличены на 87,5; 19,8; 11,9 и 2,40 % ($P \leq 0,05$) соответственно при снижении концентраций I, Ni, Li, Se, Cu, As и Zn на 88,7; 64,3; 57,3; 55,2; 32,2 и 5,12 % ($P \leq 0,05$) соответственно в теле подопытной птицы относительно контроля, на фоне введения ЭКД в рацион.

Зафиксировано достоверное снижение концентрации Sn, Al, Pb и Sr на 99,8; 60,7; 59,8 и 4,57 % ($P \leq 0,05$) соответственно в теле бройлеров при сравнении с контролем.

Увеличение концентрации Ca на 85,1 % ($P \leq 0,05$) в теле птицы на фоне снижения концентрации Mg, P, K и Na на 2,78; 1,51; 6,18 и 9,40 % установлено при введении композиции ЭКД+УДЧ Cu в рацион (рис. 4).

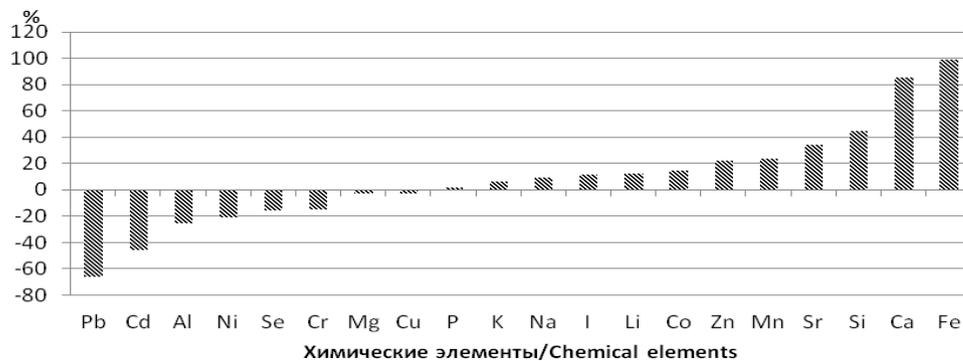


Рис. 4 – Разница уровня химических элементов в IV опытной группе относительно контрольной группы, %

Figure 4 – The difference in the level of chemical elements in the IV experimental group relative to the control group, %

Добавление композиции ЭКД+УДЧ Cu в рацион сопровождалось увеличением Fe, Si, Mn, Zn, Co, Li и I на 99,0; 44,3; 23,4; 21,7; 14,3; 12,4; 11,8, соответственно, на фоне снижения Ni, Se, Cr и Cu на 21,1; 15,7; 14,7 и 2,77 % соответственно в теле птицы при сравнении с контрольным аналогом.

Композиция ЭКД+УДЧ Cu в рационе способствует снижению концентрации тяжёлых металлов в теле птицы: Sn, Pb, Cd и Al на 74,5; 65,9; 45,8 и 25,5 % ($P \leq 0,05$) соответственно при увеличении концентрации Sr на 33,8 % относительно контроля.

Скармливание композиции ЭКД+УДЧ Fe цыплятам привело к изменениям в накоплении макроэлементов. Увеличилась концентрация Ca, K и Na на 80,8; 9,76 и 7,31 % ($P \leq 0,05$) соответственно при незначительном увеличении концентрации Mg в теле птицы относительно контрольной группы (рис. 5).

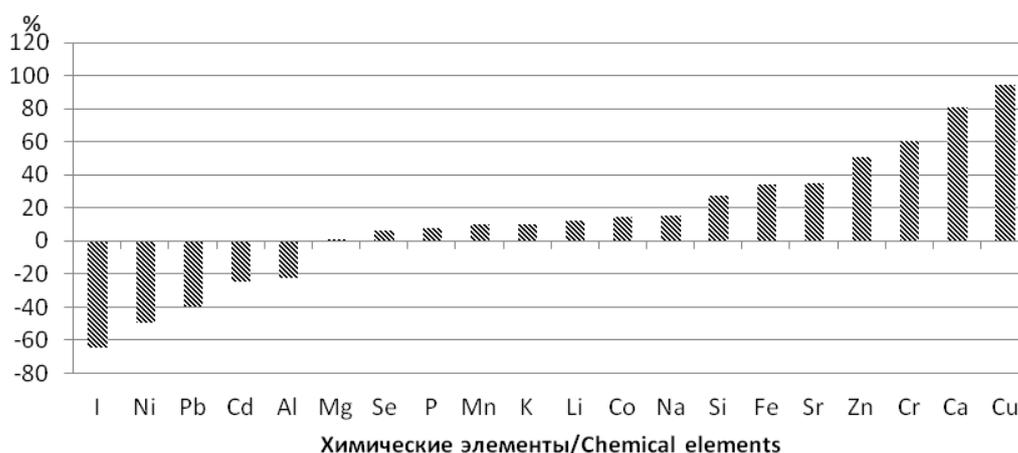


Рис. 5 – Разница уровня химических элементов в V опытной группе относительно контрольной группы, %

Figure 5 – The difference in the level of chemical elements in the V experimental group relative to the control group, %

Добавление композиции ЭКД+УДЧ Fe в рацион птицы сопровождалось повышением концентрации Se, Mn, Li, Co, Si, Fe, Zn, Cr и Cu на 5,99; 9,58; 12,4; 14,3; 27,2; 34,3; 50,6; 60,4 и 94,1 % ($P \leq 0,05$) соответственно на фоне снижения концентрации I и Ni на 64,8 и 50,0 % соответственно относительно контроля.

Установлено, что при внесении композиции ЭКД+УДЧ Fe в рацион происходило снижение концентрации Sn, Pb, Cd и Al на 89,3; 40,2 25,0 и 22,5 % ($P \leq 0,05$) соответственно на фоне снижения концентрации Sr на 35,2 % в теле подопытной птицы относительно контрольного аналога.

Обсуждение полученных результатов.

Считается, что натуральные кормовые добавки растительного происхождения являются более безопасными, чем применяемые химические вещества. Травы и их экстракты, включённые в корм для сельскохозяйственных животных, способны стимулировать обменные процессы в организме и способствовать эффективному использованию питательных веществ в кормах, что приводит к более быстрому росту животных и увеличению продуктивности. Кроме того, травы и их экстракты содержат активные вещества, которые могут улучшать минеральный обмен, пищеварение и обладают бактериальным и иммуностимулирующим действием в организме животных.

Экстракт коры дуба, использованный в нашем исследовании, традиционно применяется в качестве антимикробного (Starčević K et al., 2015), антиоксидантного вещества (Abuga I et al., 2020), а также широко изучается как перспективная кормовая добавка для кормления сельскохозяйственных животных (Duskaev et al., 2018; Fisinin VI et al., 2018).

Отметим, что полученные результаты в разрезе влияния экстракта QС на обмен минеральных веществ в организме цыплят-бройлеров стоит обсуждать в контексте уже имеющихся данных о том, что ряд соединений, обнаруженных в экстрактах растений, могут обладать способностью хелатировать ионы переходных металлов, особенно Fe(II) и Cu(II), что имеет важное значение (Karamac M et al., 2009). Хелатирующая способность полифенола связана с присутствием в составе растительных экстрактов молекул, несущих катехиновые или галлоильные группы и конденсированные танины (Khokhar S and Aparenten RKO, 2003; Andjelković M et al., 2006).

Необходимо отметить снижение уровня токсичных элементов в теле цыплят-бройлеров как при включении ЭКД, УДЧ Fe и Cu, так и при комплексном их введении в организм, схожие результаты были получены у Duskaev GK с соавторами (2018).

Исследования Ognik K с коллегами (2016) показали, что дополнительное введение наночастиц меди способствует повышению железа, цинка и кальция. В нашем случае совместное включение экстракта QС и УДЧ Cu приводит к большему накоплению в сравнении с группой только с УДЧ Cu. По данным Sawosz E с соавторами (2018), УДЧ меди снижали выделение меди в окружающую среду, а являясь антагонистом цинка, способствовали его повышению (Ao T et al., 2009).

В целом же влияние как фитобиотиков, так и совместное включение экстрактов с ультрадисперсными частицами на минеральный обмен в организме цыплят-бройлеров может быть разнонаправленным. Отметим, что в эксперименте Stef DS и Gergen I (2012), как и в нашем исследовании, растительные экстракты из лекарственных трав имели специфическое влияние на накопление металлов, и наблюдалась умеренная корреляция между общим количеством полифенолов и накоплением металлов. Вышеуказанное может быть связано с антагонизмом между ионами металлов и составляющих рацион компонентов (аминокислот и белков). Данные компоненты могут выступать в качестве конкурента для комплексообразования металлов и влиять на накопление металлов в мясе цыплят-бройлеров.

Таким образом, введение в рацион цыплят-бройлеров биологически активных веществ, таких как экстракт *Quercus cortex*, а также комплекс в виде экстракта *Quercus cortex* и ультрадисперсных частиц Cu и Fe оказывает положительное влияние на обмен макро- и эссенциальных элементов в теле птицы. Причём следует отметить, что ЭКД+УДЧ Fe и Cu способствуют выведению из организма токсичных элементов. Полученные данные возможно связаны с изменениями биохимических процессов, а также адаптацией организма цыплят-бройлеров в ответ на введение исследуемых веществ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-16-00078)

Литература

1. Агроминеральные ресурсы Татарстана и перспективы их использования: монография / Р.Х. Абузяров, Ф.Г. Ахметов, П.А. Аблямитов и др.; под ред. А.В. Якимова. Казань: Фэн, 2002. 272 с. [Abuzyarov RKh, Akhmetov FG, Ablyamitov PA et al. Agromineral'nye resursy Tatarstana i perspektivy ikh ispol'zovaniya: monografiya. pod red. Yakimova AV. Kazan': Fen; 2002:272 p. (In Russ)].
2. Включение экстракта *Quercus cortex* в рацион бройлеров изменяет их убойные показатели и биохимический состав мышечной ткани / В.А. Багиров, Г.К. Дускаев, Н.М. Казачкова, Ш.Г. Рахматуллин, Е.В. Яушева, Д.Б. Косян, Ш.А. Макаев, Х.Б. Дусаева // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 4. С. 799-810. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799rus [Bagirov VA, Duskaev GK, Kazachkova NM, Rakhmatullin ShG, Yausheva EV, Kosyan DB, Makaev ShA, Dusaeva KhB. Addition of

Quercus cortex extract to broiler diet changes slaughter indicators and biochemical composition of muscle tissue. *Agricultural Biology*. 2018;53(4):799-810. (*In Russ*). doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799eng

3. Глушкова А.В., Радиллов А.С., Рембовский В.Р. Нанотехнологии и нанотоксикология – взгляд на проблему // *Токсикологический вестник*. 2007. № 6(87). С. 4-8 [Glushkova AV, Radilov AS, Rembovskiy VR. Nanotechnologies and nanotoxicology view of the problem. *Toxicological Review*. 2007;6(87):4-8. (*In Russ*)].

4. Нанокompозиты алюминий/октоген: синтез, микроструктура и горение / А.Н. Жигач, И.О. Лейпунский, А.Н. Пивкина и др. // *Физика горения и взрыва*. 2015. Т. 51. № 1. С. 117-124. [Zhigach AN, Leipunskii IO, Pivkina AN et al. Aluminum/hmx nanocomposites: synthesis, microstructure, and combustion. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. 2015;51(1):117-124. (*In Russ*)].

5. Иванов А.В., Трemasов М.Я. Нанотехнологии: перспективы их использования // *Ветеринарный врач*. 2008. № 5. С. 2-3 [Ivanov AV, Tremasov MYa. Nanotekhnologii: perspektivy ikh ispol'zovaniya. *Veterinarnyi vrach*. 2008;5:2-3 (*In Russ*)].

6. Изменение иммунологических и продуктивных показателей у цыплят-бройлеров под влиянием биологически активных веществ из экстракта коры дуба / В.И. Фисинин, А.С. Ушаков, Г.К. Дускаев, Казачкова Н.М., Б.С. Нуржанов, Ш.Г. Рахматуллин, Г.И. Левахин. *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 2. С. 385-392. [Fisinin VI, Ushakov AS, Duskaev GK, Kazachkova NM, Nurzhanov BS, Rakhmatullin ShG, Levakhin GI. Mixtures of biologically active substances of oak bark extracts change immunological and productive indicators of broilers. *Agricultural Biology*. 2018;53(2):385-392. (*In Russ*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.385rus

7. Кормление сельскохозяйственной птицы: монография / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Т.М. Околелова, Ш.А. Имангулов. Сергиев Посад, 2004. 375 с. [Fisinin VI, Egorov IA, Okolelova TM, Imangulov ShA. *Kormlenie sel'skhozajstvennoj pticy: monografija*. Sergiev Posad; 2004:375 p. (*In Russ*)].

8. Патогенетические аспекты применения сорбентов в районах экологического неблагополучия / К.Х. Папуниди, И.А. Шкуратова, И.М. Донник, А.Д. Шушарин // *Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана*. 2005. Т. 181. С. 174-180 [Papunidi KKh, Shkuratova IA, Donnik IM, Shusharin AD. Patogeneticheskie aspekty primeneniya sorbentov v raionakh ekologicheskogo neblagopoluchiya. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy Of Veterinary Medicine*. 2005;181:174-180 (*In Russ*)].

9. Применение сорбентов при выращивании молодняка свиней / А.М. Трemasова, Л.Г. Бурдов, С.О. Белецкий, М.Ю. Митрохин // *Ветеринарный врач*. 2012. № 6. С. 27-29 [Tremasova AM, Burdov LG, Belecki SO, Mitrohin MYu. The use of new sorbents for rearing pigs. *Veterinarnyi vrach*. 2012;6:27-29 (*In Russ*)].

10. Сизова Е.А., Яушева Е.В. Сравнительная продуктивность цыплят-бройлеров при инъекционном введении разноразмерных ультрадисперсных частиц железа // *Животноводство и кормопроизводство*. 2019. Т. 102. № 1. С. 6-21. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-6 [Sizova EA, Yausheva EV. Comparative productivity of broiler chickens injected with variously sized ultrafine iron particles. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(1):6-21. (*In Russ*)]. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-6

11. Толмачева А.А. Лекарственные растения и их компоненты как ингибиторы системы Quorum sensing первого типа у бактерий: на примере *Chromobacterium violaceum*: дис. ... канд. биол. наук. Оренбург, 2015. 129 с. [Tolmacheva A.A. *Lekarstvennyye rasteniya i ikh komponenty kak inhibitory sistemy Quorum sensing pervogo tipa u bakterii: na primere Chromobacterium violaceum* [dissertation]. Orenburg; 2015:129 p. (*In Russ*)].

12. Яушева Е.В., Мирошников С.А. Продуктивное действие совместного использования препаратов наночастиц железа и аргинина в питании цыплят-бройлеров // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015. № 5(55). С. 158-160. [Yausheva YeV, Miroshnikov SA. Effect of combined use of preparations including iron nano-particles and arginin in feeding broiler chickens. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2015;5(55):158-160. (*In Russ*)].

13. Abuga I, Sulaiman SF, Wahab RA, Ooi KL, Rasad MSBA. In vitro antibacterial effect of the leaf extract of *Murraya koenigii* on cell membrane destruction against pathogenic bacteria and phenolic compounds identification. *European Journal of Integrative Medicine* 2020;33:101010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2019.101010>
14. Alipour F, Hassanabadi A, Golian A, Nassiri-Moghaddam H. Effect of plant extracts derived from thyme on male broiler performance. *Poultry Science*. 2015;94(11):2630-2634. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pev220>
15. Andjelković M, Van Camp J, De Meulenaer B, Depaemelaere G, Socaciu C, Verloo M, Verhe R. Iron-chelation properties of phenolic acids bearing catechol and galloyl groups. *Food Chemistry*. 2006;98(1):23-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.044>
16. Ao T, Pierce JL, Power R, et al. Effects of feeding different forms of zinc and copper on the performance and tissue mineral content of chicks. *Poultry Science*. 2009;88(10):2171-2175. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00117>
17. Deng H, Zhang Y, Yu H. Nanoparticles considered as mixtures for toxicological research. *J Environ Sci Health Pt C – Environ Carcinog Ecotoxicol Rev*. 2018;36(1):1-20. doi: <https://doi.org/10.1080/10590501.2018.1418792>
18. Duskaev GK, Kazachkova NM, Ushakov AS, Nurzhanov BS, Rysaev AF. The effect of purified *Quercus cortex* extract on biochemical parameters of organism and productivity of healthy broiler chickens. *Veterinary World*. 2018;11(2):235-239. doi: [10.14202/vetworld.2018.235-239](https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.235-239)
19. Fisinin VI, Miroshnikov SA, Sizova EA, Ushakov AS, Miroshnikova EP. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. *World's Poultry Science Journal*. 2018;74(3):523-540. doi: <https://doi.org/10.1017/S0043933918000491>
20. Fuxiang W, Huiying R, Fenghua Z, Jinquan S, Jianyang J, Wenli L. Effects of nano-selenium on the immune functions and antioxidant abilities of broiler chickens. *Chinese Agricultural Science Bulletin*. 2008;2:37-43.
21. Guo FC, Williams BA, Kwakkel RP, et al. Effects of mushroom and herb polysaccharides, as alternatives for an antibiotic, on the cecal microbial ecosystem in broiler chickens. *Poultry Science*. 2004;83(2):175-182. doi: <https://doi.org/10.1093/ps/83.2.175>
22. Karamać M. Chelation of Cu(II), Zn(II), and Fe(II) by tannin constituents of selected edible nuts. *Int J Mol Sci*. 2009;10(12):5485-5497. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms10125485>
23. Khokhar S, Apenten RKO. Iron binding characteristics of phenolic compounds: some tentative structure-activity relations. *Food Chemistry*. 2003;81(1):133-140. doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00394-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00394-1)
24. Kurekci C, Al Jassim R, Hassan E, Bishop-Hurley SL, Padmanabha J, McSweeney CS. Effects of feeding plant-derived agents on the colonization of *Campylobacter jejuni* in broiler chickens. *Poult Science*. 2014;93(9):2337-2346. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2014-03950>
25. Morovat M, Chamani M, Zarei A, Sadeghi AA. Dietary but not in ovo feeding of *Silybum marianum* extract resulted in an improvement in performance, immunity and carcass characteristics and decreased the adverse effects of high temperatures in broilers. *Br Poult Sci*. 2016;57(1):105-113. doi: <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1121537>
26. Ognik K, Stępniewska A, Cholewińska E, Kozłowski K. The effect of administration of copper nanoparticles to chickens in drinking water on estimated intestinal absorption of iron, zinc, and calcium. *Poultry Science*. 2016;95(9):2045-2051. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pew200>
27. Pirgozliev V, Mansbridge SC, Rose SP, Lillehoj HS, Bravo D. Immune modulation, growth performance, and nutrient retention in broiler chickens fed a blend of phyto-genic feed additives. *Poultry Science*. 2019;98(9):3443-3449. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pey472>
28. Sawosz E, Łukasiewicz M, Łozicki A et al. Effect of copper nanoparticles on the mineral content of tissues and droppings, and growth of chickens. *Arch Anim Nutr*. 2018;72(5):396-406. doi: <https://doi.org/10.1080/1745039X.2018.1505146>

29. Starčević K, Krstulović L, Brozić D, Maurić M, Stojević Z, Mikulec Ž, Bajić M, Mašek T. Production performance, meat composition and oxidative susceptibility in broiler chicken fed with different phenolic compounds. *J Sci Food Agr.* 2015;95(6):1172-1178. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6805>
30. Stef DS, Gergen I. Effect of mineral-enriched diet and medicinal herbs on Fe, Mn, Zn, and Cu uptake in chicken. *Chemistry Central Journal.* 2012;6:19 (2012). doi: <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-19>
31. Xia MS, Hu CH, Wang XH, Zhang SJ, Xin HP. Effect of nano-selenium on piglets growth performance and antioxidative. *Nonrumin Nutr.* 2016.3:28-30.
32. Zhang PF, Shi BL, Su JL, et al. Relieving effect of *Artemisia argyi* aqueous extract on immune stress in broilers. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2017;101(2):251-258. doi: 10.1111/jpn.12553

References

1. Abuzyarov RKh, Akhmetov FG, Ablyamitov PA et al Agromineral resources of Tatarstan and prospects of their use: monograph; Yakimov AV, editor. Kazan: Feng; 2002: 272 p.
2. Bagirov VA, Duskaev GK, Kazachkova NM, Rakhmatullin ShG, Yausheva EV, Kosyan DB, Makaev ShA, Dusaeva KhB. Addition of *Quercus cortex* extract to broiler diet changes slaughter indicators and biochemical composition of muscle tissue. *Agricultural Biology.* 2018;53(4):799-810. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799eng
3. Glushkova AV, Radilov AS, Rembovskiy VR. Nanotechnologies and nanotoxicology view of the problem. *Toxicological Review.* 2007;6(87):4-8.
4. Zhigach AN, Leipunskii IO, Pivkina AN et al. Aluminum/hmx nanocomposites: synthesis, microstructure, and combustion. *Combustion, Explosion, and Shock Waves.* 2015;51(1):117-124.
5. Ivanov AB, Tremasov MYa. Nanotechnology: prospects for their use. *Veterinarian.* 2008;5:2-3.
6. Fisinin VI, Ushakov AS, Duskaev GK, Kazachkova NM, Nurzhanov BS, Rakhmatullin ShG, Levakhin GI. Mixtures of biologically active substances of oak bark extracts change immunological and productive indicators of broilers. *Agricultural Biology.* 2018;53(2):385-392. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.385eng
7. Fisinin VI, Egorov IA, Okolelova TM, Imangulov ShA. Feeding of poultry: monograph. Ser-giev Posad, 2004; 375 p.
8. Papunidi KKh, Shkuratova IA, Donnik IM, Shusharin AD. Patogeneticheskie aspekty primeneniya sorbentov v raionakh ekologicheskogo neblagopoluchiya. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy Of Veterinary Medicine.* 2005;181:174-180.
9. Tremasova AM, Burdov LG, Belecki SO, Mitrohin MYu. The use of new sorbents for rearing pigs. *Veterinarian.* 2012;6:27-29.
10. Sizova EA, Yausheva EV. Comparative productivity of broiler chickens injected with variously sized ultrafine iron particles. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2019;102(1):6-21. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-6
11. Tolmacheva AA. Medicinal plants and their components as inhibitors of the first type of Quorum sensing system in bacteria: the example of *Chromobacterium violaceum* [dissertation]. Orenburg: 2015:129 p.
12. Yausheva YeV, Miroshnikov SA. Effect of combined use of preparations including iron nanoparticles and arginin in feeding broiler chickens. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University.* 2015;5(55):158-160.
13. Abuga I, Sulaiman SF, Wahab RA, Ooi KL, Rasad MSBA. In vitro antibacterial effect of the leaf extract of *Murraya koenigii* on cell membrane destruction against pathogenic bacteria and phenolic compounds identification. *European Journal of Integrative Medicine.* 2020;33:101010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2019.101010>
14. Alipour F, Hassanabadi A, Golian A, Nassiri-Moghaddam H. Effect of plant extracts derived from thyme on male broiler performance. *Poultry Science.* 2015;94(11):2630-2634. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pev220>

15. Andjelković M, Van Camp J, De Meulenaer B, Depaemelaere G, Socaciu C, Verloo M, Verhe R. Iron-chelation properties of phenolic acids bearing catechol and galloyl groups. *Food Chemistry*. 2006;98(1):23-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.044>
16. Ao T, Pierce JL, Power R, et al. Effects of feeding different forms of zinc and copper on the performance and tissue mineral content of chicks. *Poultry Science*. 2009;88(10):2171-2175. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00117>
17. Deng H, Zhang Y, Yu H. Nanoparticles considered as mixtures for toxicological research. *J Environ Sci Health Pt C – Environ Carcinog Ecotoxicol Rev*. 2018;36(1):1-20. doi: <https://doi.org/10.1080/10590501.2018.1418792>
18. Duskaev GK, Kazachkova NM, Ushakov AS, Nurzhanov BS, Rysaev AF. The effect of purified *Quercus cortex* extract on biochemical parameters of organism and productivity of healthy broiler chickens. *Veterinary World*. 2018;11(2):235-239. doi: [10.14202/vetworld.2018.235-239](https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.235-239)
19. Fisinin VI, Miroshnikov SA, Sizova EA, Ushakov AS, Miroshnikova EP. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. *World's Poultry Science Journal*. 2018;74(3):523-540. doi: <https://doi.org/10.1017/S0043933918000491>
20. Fuxiang W, Huiying R, Fenghua Z, Jinquan S, Jianyang J, Wenli L. Effects of nano-selenium on the immune functions and antioxidant abilities of broiler chickens. *Chinese Agricultural Science Bulletin*. 2008;2:37-43.
21. Guo FC, Williams BA, Kwakkel RP, et al. Effects of mushroom and herb polysaccharides, as alternatives for an antibiotic, on the cecal microbial ecosystem in broiler chickens. *Poultry Science*. 2004;83(2):175-182. doi: <https://doi.org/10.1093/ps/83.2.175>
22. Karamać M. Chelation of Cu(II), Zn(II), and Fe(II) by tannin constituents of selected edible nuts. *Int J Mol Sci*. 2009;10(12):5485-5497. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms10125485>
23. Khokhar S, Apenten RKO. Iron binding characteristics of phenolic compounds: some tentative structure-activity relations. *Food Chemistry*. 2003;81(1):133-140. doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00394-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00394-1)
24. Kurekci C, Al Jassim R, Hassan E, Bishop-Hurley SL, Padmanabha J, McSweeney CS. Effects of feeding plant-derived agents on the colonization of *Campylobacter jejuni* in broiler chickens. *Poult Science*. 2014;93(9):2337-2346. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2014-03950>
25. Morovat M, Chamani M, Zarei A, Sadeghi AA. Dietary but not in ovo feeding of *Silybum marianum* extract resulted in an improvement in performance, immunity and carcass characteristics and decreased the adverse effects of high temperatures in broilers. *Br Poult Sci*. 2016;57(1):105-113. doi: <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1121537>
26. Ognik K, Stępniewska A, Cholewińska E, Kozłowski K. The effect of administration of copper nanoparticles to chickens in drinking water on estimated intestinal absorption of iron, zinc, and calcium. *Poultry Science*. 2016;95(9):2045-2051. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pew200>
27. Pirgozliev V, Mansbridge SC, Rose SP, Lillehoj HS, Bravo D. Immune modulation, growth performance, and nutrient retention in broiler chickens fed a blend of phyto-genic feed additives. *Poultry Science*. 2019;98(9):3443-3449. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pey472>
28. Sawosz E, Łukasiewicz M, Łozicki A, et al. Effect of copper nanoparticles on the mineral content of tissues and droppings, and growth of chickens. *Arch Anim Nutr*. 2018;72(5):396-406. doi: <https://doi.org/10.1080/1745039X.2018.1505146>
29. Starčević K, Krstulović L, Brozić D, Maurić M, Stojević Z, Mikulec Ž, Bajić M, Mašek T. Production performance, meat composition and oxidative susceptibility in broiler chicken fed with different phenolic compounds. *J Sci Food Agr*. 2015;95(6):1172-1178. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6805>
30. Stef DS, Gergen I. Effect of mineral-enriched diet and medicinal herbs on Fe, Mn, Zn, and Cu uptake in chicken. *Chemistry Central Journal*. 2012;6:19 (2012). doi: <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-19>
31. Xia MS, Hu CH, Wang XH, Zhang SJ, Xin HP. Effect of nano-selenium on piglets growth performance and antioxidative. *Nonrumin Nutr*. 2016.3:28-30.
32. Zhang PF, Shi BL, Su JL, et al. Relieving effect of *Artemisia argyi* aqueous extract on immune stress in broilers. *J Anim Physiol Anim Nutr*. 2017;101(2):251-258. doi: [10.1111/jpn.12553](https://doi.org/10.1111/jpn.12553)

Мирошникова Елена Петровна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии животного сырья и аквакультуры, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, проспект Победы 13, тел.: 89878629886, e-mail: elenaakva@rambler.ru

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 агротехнологии Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 89225485657, e-mail: kwan111@yandex.ru

Шейда Елена Владимировна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, сот.: 8-922-862-64-02, e-mail: elena-shejjda@mail.ru; Оренбургский государственный университет, старший научный сотрудник, экспериментально-биологическая клиника, 460000, г. Оренбург, пр. Победы 13Д, тел.: 89228626402, e-mail: elena-snejjda@mail.ru

Русакова Елена Анатольевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологии Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 89198602478, e-mail: elenka_rs@mail.ru

Поступила в редакцию 4 августа 2020 г.; принята после решения редколлегии 14 сентября 2020 г.; опубликована 30 сентября 2020 г. / Received: 4 August 2020; Accepted: 14 September 2020; Published: 30 September 2020