

УДК 636.5:577.17:591.11

DOI: 10.33284/2658-3135-102-4-227

Влияние микрочастиц железа и пробиотического препарата соя-бифидум на рост, развитие и морфобioхимические показатели цыплят-бройлеров

С.В. Лебедев^{1,2}, Е.П. Мирошникова², В.В. Гречкина^{1,3}, Д.М. Муслимова¹, М.Я. Курилкина¹

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

²Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)

³Оренбургский государственный аграрный университет (г. Оренбург)

Аннотация. В статье изучалось совместное действие пробиотического препарата культуры клеток *Bifidobacterium longum* в составе препарата соя-бифидум в дозировке 0,7 мл/кг корма и наночастиц (НЧ) железа в дозировке 17 мг/кг на цыплятах-бройлерах кросса Арбор Айкрес. Из полученных данных было установлено, что у цыплят-бройлеров II опытной группы при совместном включении пробиотического препарата и Fe происходило достоверное увеличение живой массы на 10,16 % на фоне минимального коэффициента расхода корма на 1 кг продукции – 1,2 относительно контрольной птицы. Сочетанное действие пробиотического препарата и НЧ Fe отличалось увеличением гемоглобина – 9,23 %, эритроцитов – 26,53 % ($P \leq 0,05$), общего белка – 10,95 % ($P \leq 0,05$) относительно цыплят контрольной группы. Отсутствие патологических изменений в печени, несмотря на увеличение ГГТ во II опытной группе и общего билирубина, характеризуется снижением АЛТ, АСТ, а также холестерина и щелочной фосфатазы на 24,3 и 27,5 % ($P \leq 0,05$) соответственно. Установлен факт, что несвязанное железо является индуктором перекисного окисления липидов и перекисной деструкции белков. Уровень Fe в сыворотке крови цыплят II опытной группы увеличивался на 48,44 % ($P \leq 0,05$) относительно цыплят-бройлеров контрольной группы. Из этого следует, что металлы в микрочастицах, имея низкую степень высвобождения и скорость усвояемости, тем самым исключают токсическое воздействие на организм и кишечную микрофлору. Полученные экспериментальные данные указывают о возможной оптимизации минерального питания сельскохозяйственной птицы на основе использования микрочастиц Fe и с нивелированием нагрузки на кишечную микрофлору путём включения в рацион пробиотического препарата соя-бифидум.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, корма, пробиотический препарат, микрочастицы железа, кровь, рост, развитие, морфология.

UDC 636.5:577.17:591.11

The effect of iron microparticles and the probiotic preparation soya-bifidum on the growth, development and morpho-biochemical parameters of broiler chickens

Svyatoslav V Lebedev^{1,2}, Elena P Miroshnikova², Victoria V Grechkina^{1,3}, Dina M Muslumova¹, Marina Ya Kurilkina¹

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

²Orenburg State University (Orenburg, Russia)

³Orenburg State Agrarian University (Orenburg, Russia)

Summary. The article studied the combined effect of probiotic preparation of cell culture *Bifidobacterium longum* in the composition of the soybean-bifidum preparation in a dosage of 0.7 ml / kg of feed and iron nanoparticles (NP) in a dosage of 17 mg/kg on broiler chickens Arbor Acres. From the data obtained, it was found that broiler chickens of the II experimental group, when the probiotic preparation and Fe were combined, showed a significant increase in live weight by 10.16% against the background of a minimum feed consumption rate per 1 kg of production - 1.2 relative to the control bird. The combined effect of the probiotic preparation and NP NP was characterized by an increase in hemoglobin - 9.23%, erythrocytes - 26.53% ($P \leq 0.05$), total protein - 10.95% ($P \leq 0.05$) relative to chickens in the control group. The absence of pathological changes in the liver, despite an increase in GGT in II experimental group and total bilirubin,

is characterized by a decrease in ALT, AST, as well as cholesterol and alkaline phosphatase by 24.3 and 27.5% ($P \leq 0.05$), respectively. It has been established that unbound iron is an inducer of lipid peroxidation and protein peroxidation. The level of Fe in the blood serum of chickens of the II experimental group increased by 48.44% ($P \leq 0.05$) relative to broilers of the control group. From this, it follows that metals in microparticles, having a low degree of release and rate of assimilation, thereby exclude toxic effects on the body and intestinal microflora. The obtained experimental data indicate the possible optimization of the mineral nutrition of poultry based on the use of Fe microparticles and leveling the load on the intestinal microflora by including soya-bifidum in the diet of the probiotic preparation.

Key words: broilers, feed, probiotic preparation, iron microparticles, blood, growth, development, morphology.

Введение.

В настоящее время мировая тенденция ведения отрасли животноводства направлена на удешевление кормовых средств с сохранением продуктивных трендов. В основе лимитирующих кормовых субстратов лежат традиционные зерновые ингредиенты и минеральные компоненты (Мирошников С.А. и др., 2009; Liu X and Theil EC, 2005; Hossain MB et al., 2011; Arosio P et al., 2015; Ognik K et al., 2016).

В процессе метаболизма химических элементов в организме животных происходит их взаимодействие с аминокислотами, ферментами и т. д. Учитывая высокую биодоступность и пролонгирующее действие минеральных веществ на процессы метаболизма, использование микрочастиц в форме ультрадисперстных форм металлов-микроэлементов является перспективным направлением (Сизова Е.А. и др., 2012; Zhou X and Wang Y, 2011).

Есть сведения об эффективном использовании в животноводстве и птицеводстве различных микроструктурных источников микроэлементов, в том числе селена (Лебедев С.В. и др., 2006), железа (Sizova EA et al., 2015), хрома (Лебедев С.В. и др., 2019; Zha LY et al., 2009), цинка (Нестеров Д.В. и др., 2012; Zhao Y et al., 2016), меди (Никитин А.Ю. и др., 2019) и др.

Успешное развитие нанотехнологий показало целесообразность использования пробиотических препаратов совместно с ультрадисперстными формами металлов-микроэлементов (Лебедев С.В. и др., 2018).

Железо – необходимый элемент для большинства организмов, включая бактерии. Окисленная форма железа нерастворима, а восстановленная форма высокотоксична для большинства макромолекул и в биологических системах, как правило, связана с железо- и гемнесущими белками (Сизова Е.А. и др., 2018; Aslam MF et al., 2014).

Чтобы обеспечить свои потребности в железе, бактерии, обнаруживая разнообразие их потенциальных биотопов, располагают несколькими системами приобретения железа. Эти системы используют один из двух механизмов. Первый предполагает прямой контакт между бактерией и экзогенными источниками железа/гема. Второй механизм использует молекулы (сидерофоры и гемофоры), синтезируемые и освобождаемые во внеклеточную среду; эти молекулы извлекают железо или гем из разных источников (Wandersman C and Delepelaire P, 2004; Sizova EA et al., 2015).

На фоне положительных эффектов на обмен веществ и продуктивные качества микроэлементы оказывают отрицательное влияние на бактерии (Rusakova E et al., 2015) и микрофлору кишечника, что исключается путём дополнительного включения в рацион пробиотических (Kvan O et al., 2018) и ферментных препаратов (Никитин А.Ю. и др., 2018).

Цель исследования.

Изучение ростовых качеств и морфофункциональных изменений в организме цыплят-бройлеров при дополнительном включении в рацион микродобавок железа и пробиотического препарата соя-бифидум.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса Арбор Айкрес.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями Russian Regulation 1987 (Order No. 755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996)». При выполнении исследований были приняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых образцов.

Схема эксперимента. Исследования проводили на цыплятах-бройлерах кросса Арбор Айкрес (ОАО «Птицефабрика Оренбургская», www.pfo56.ru) в условиях лаборатории биологических испытаний и экспертиз Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук. Измерения проводились в центре «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» и Испытательном центре ЦКП ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации RA. RU.21ПФ59 от 02.12.15).

Содержание птицы осуществлялось в клетках КУН-05 площадью 4050 см² (90×45×45 см). Птицу маркировали пластиковыми ножными бирками. На основании ежесуточного взвешивания методом пар-аналогов сформировали 3 группы: одну контрольную и две опытных (по n=24). Птица контрольной группы получала основной рацион (ОР), I опытной – ОР совместно с НЧ железа в дозировке 17 мг/кг, II опытной – ОР совместно с пробиотическим препаратом соя-бифидум в дозировке 0,7 мл/кг корма и НЧ железа в дозировке 17 мг/кг. Дозировки наночастиц были выбраны с учётом ранее установленного положительного эффекта (Сизова ЕА и др., 2018).

В исследованиях использованы микрочастицы Fe 62,5±0,6 нм (ООО «Платина», г. Москва, Россия) и пробиотический препарат культура клеток *Bifidobacterium longum* в составе препарата соя-бифидум (свидетельство госрегистрации RU.77.99.11.003. E.000449.01.12 от 13.01.12) с содержанием не менее 10⁹ клеток *Bifidobacterium longum* (ООО «НПФ «Экобиос» г. Оренбург, Россия).

Птицу кормили 2 раза в сутки рационом в соответствии с потребностью в различные возрастные периоды (ПК-5 и ПК-6). Состав основного рациона (ОР) в стартовом и ростовом периоде составил соответственно: зерно пшеницы (27,1 и 41,2 %), кукуруза (16 и 22 %), шрот соевый (25 и 15 %), шрот подсолнечный (18 и 8 %), масло подсолнечное (5 и 2,8 %), монохлоргидрат лизина 98 % (0,35 и 0,17 %), DL-метионина (0,10 и 0,13 %), L-треонина (0,03 и 0,54 %), соль поваренная (0,28 и 0,3 %), монокальций фосфат (0,7 и 0,7 %), мел кормовой (0,5 и 0,4 %), известняковая мука (1,0 и 0,7 %), премикс (2%) (ООО «Коудайс МКорма», Россия) (Фисинин В.И. и др., 2009).

В процессе проведения эксперимента поение осуществлялось вволю. Прирост живой массы оценивали ежедневно утром до кормления. Биоматериал для исследования получали после декапитации бройлеров под нембуталовым наркозом на 21 и 42 сутки. Затем проводили послеубойную анатомическую разделку тушек, измерялись абсолютные и относительные массы внутренних органов с последующим измельчением и озолоением (Multiwave 3000, «Anton Paar», Австрия).

Оборудование и технические средства. Морфологические данные определяли на автоматическом гематологическом анализаторе Urit-2900 Vet Plus. Исследования сыворотки крови проводились на автоматическом анализаторе CS-T240 («DIRUI Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческих наборов для ветеринарии ДиаВетТест (Россия) и Randox Laboratories Limited (United Kingdom).

Микроэлементный анализ исследовали методами атомно-эмиссионной спектроскопии (Optima 2000 V, «Perkin Elmer», США) и масс-спектрометрии (Elan 9000, «Perkin Elmer», США) согласно рекомендациям производителя.

Статистическая обработка. Статистический анализ выполняли с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США) с использованием методик ANOVA. Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по *t*-критерию Стьюдента. Достоверными считали значения при P≤0,05. Данные представлены как среднее (*M*) и стандартная ошибка среднего (*m*).

Результаты исследований.

Контроль за весовым ростом опытных птиц показал, что наибольшим приростом за период эксперимента характеризовались бройлеры, получавшие в составе рациона сочетание железа с пробиотическим препаратом соя-бифидум. Они превосходили контрольных особей на 10,16 % на фоне минимального коэффициента расхода корма на 1 кг продукции – 1,21 (табл. 1).

Таблица 1. Показатели роста и расхода корма бройлерами кросса Арбор Айкрес (M±SEM, n=24, опыт в условиях вивария, 42 сутки эксперимента)

Table 1. Growth and feed rates for crosses Arbor Acres (M±SEM, n=24, experiment in vivarium conditions, 42 day of experiment)

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	контрольная / control	I группа / I group	II группа / II group
Начальная масса (г) / Initial mass (g)	476±12,1	467±11,2	453±11,7
Конечная масса (г) / Final mass (g)	1613±60,6	1666±77,0	1777±77,0*
Расход корма (г) / Feed consumption (g)	2234,3	2229,71	2162,57
Расход корма (г)/на 1 кг прироста / Feed consumption (g)/per 1 kg of growth	1,38	1,33	1,21

Примечание: * – различия с контролем достоверны при P≤0,05

Note: * – differences with control are significant at P≤0,05

Детализация роста при использовании метода морфологического определения массы анатомических органов и систем организма, представленная в таблице 2, свидетельствует о различиях совокупных параметров. В частности, при достоверных различиях превосходством I и II группы характеризовались показатели массы головы (30,8 и 23,3 %), кишечника (8,6 и 5,3 %), тимуса (22,5 и 22,1 %), фабрициева сумка (2,7 и 6,25 %).

Анализ полученных морфобиохимических данных показал, что включение в рацион ультрадисперсных частиц железа с пробиотическим препаратом соя-бифидум способствовал изменению картины крови у опытных цыплят-бройлеров (табл. 3).

По результатам исследования было установлено увеличение уровня гемоглобина в I опытной группе – 4,06 %, II опытной – 9,23 % (P≤0,05) относительно контрольной птицы.

Основную часть форменных элементов крови составляют эритроциты. При этом, обладая большой удельной поверхностью, эритроциты могут адсорбировать на себе минеральные и органические вещества. По результатам опыта количество эритроцитов находилось в пределах физиологической нормы ($3-4 \times 10^{12}/л$), в частности в контрольной группе оно составило $3,09 \times 10^{12}/л$ и увеличилось в I опытной группе на 25,24 %, II опытной – на 26,53 % (P≤0,05).

Адаптационные возможности организма цыплят-бройлеров при дополнительном введении в рацион пробиотического препарата соя-бифидум и УДЧ Fe определили с помощью биохимических показателей сыворотки крови. Анализ показал, что происходили изменения в показателях белкового обмена: общий белок увеличился в I опытной группе (6,46 %) и II опытной (10,95 %) относительно птицы контрольной группы. При этом связанный с белком такой показатель, как альбумин возрос у II опытной группы цыплят на 38,33 % (P≤0,05) относительно контроля.

Отсутствие патологических изменений в печени, несмотря на увеличение ГГТ во II опытной группе и общего билирубина, характеризуется снижением АЛТ, АСТ, а также холестерина и щелочной фосфатазы на 24,3 и 27,5 % (P≤0,05) соответственно.

Нами установлен факт увеличения содержания креатинина в сыворотке крови на 31,7 % (P≤0,05) в I и на 31,5 % (P≤0,05) – во II группах, на фоне снижения концентрации мочевины в I группе на 38,5 % (P≤0,05) и стабильного уровня глюкозы.

Таблица 2. Показатели морфологического состава тушек цыплят-бройлеров кросса Арбор Айкрес ($M \pm SEM$, $n=2,4$ опыт в условиях вивария, 42 сутки эксперимента)

Table 2. Indicators of the morphological composition of carcasses of broiler cross Arbor Acres ($M \pm SEM$, $n=24$, experiment in vivarium conditions, 42 day of experiment)

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	контрольная / control	I группа / I group	II группа / II group
Живая масса птицы перед убоем, г / Live weight of the bird before slaughter, g	1613±144,4	1689±143,6	1789±178,2
Печень, г / Liver, g	43,0±5,91	43,4±5,55	39,1±2,22
Сердце, г / Heart, g	9,38±0,99	9,71±0,34	9,64±1,03
Мышечный желудок, г / Muscle stomach, g	33,4±2,60	31,3±1,75	29,85±1,59
Лёгкие, г / Lungs, g	10,4±1,42	8,24±0,69	8,00±1,43
Почки, г / Kidneys, g	10,3±2,11	14,25±1,64*	12,7±1,48
Голова, г / Head, g	34,3±15,02	49,5±4,61*	44,7±3,88*
Ноги, г / Legs, g	72,6±6,04	66,6±1,92	69,4±2,50
Кишечник, с содержимым, г / Intestines, with contents, g	81,2±9,08	88,8±3,58*	85,7±4,75*
Железистый желудок, г / Glandular stomach, g	6,88±0,44	8,21±0,36*	7,42±0,34
Пищевод, г / Esophagus, g	3,92±1,45	5,96±0,31*	4,35±0,84
Зоб, г / Goiter, g	7,00±0,83	6,83±0,83	6,66±1,11
Селезёнка, г / Spleen, g	1,55±0,43	2,50±0,20*	1,95±0,13
Тимус, г / Thymus, g	5,12±2,69	6,60±1,36*	6,58±0,49*
Фабрициева сумка, г / Bursa Fabricii, g	3,73±0,79	3,83±0,23	3,97±0,29*

Примечание: * – различия с контролем достоверны при $P \leq 0,05$

Note: * – differences with control are significant at $P \leq 0,05$

Таблица 3. Морфологические и биохимические показатели крови 42-суточных цыплят-бройлеров кросса Арбор Айкрес при включении в рацион Fe (I группа) и пробиотического препарата (II группа) ($M \pm m$, $n=24$, эксперимент в условиях вивария)

Table 3. Morphological and biochemical blood parameters of 42-day Arbor Acres chickens after inclusion of Fe in diet (I group) and a probiotic preparation (II group) ($M \pm m$, $n=24$, experiment in vivarium conditions)

Показатели/Indicator	Группа / Group		
	контрольная / control	I группа / I group	II группа / II group
1	2	3	4
Гемоглобин, г/л/Gemoglobin, g/l	108,3±8,33	112,7±1,20	118,3±7,0*
Эритроциты, 10^{12} /л/Erythrocytes, 10^{12} /l	3,09±0,55	3,87±0,26	3,91±0,55*
Общий белок, г/л/Total protein, g/l	35,6±2,36	37,9±1,05	39,5±0,65
Альбумин, г/л/Albumen, g/l	12,0±1,52	15,0±0,58	16,6±0,66*
Холестерин, ммоль/л/Cholesterol, mmol/l	3,51±0,2	3,67±0,20	3,87±0,14
Общий билирубин, мкмоль/л / Total bilirubin $\mu\text{mol/l}$	0,38±0,03	0,73±0,003*	0,67±0,06*
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	11,46±0,22	11,89±0,46	11,82±0,19
ГГТ, Ед/л / GGT, Unit/l	16,67±2,84	18,7±1,76	22,0±0,57*
АЛТ, Ед/л / ALT, Unit/l	9,27±0,26	9,33±0,89	9,87±0,29

Продолжение 3 таблицы

1	2	3	4
АСТ, Ед/л / AST, Unit/l	268,0±24,9	247,4±9,08	270,2±6,35
Щелочная фосфатаза, Ед/л / Alkaline phosphatase, Unit/l	3446±69,6	2500±73,3*	2847±97,9
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, mkmol/l	23,1±2,05	33,8±0,43*	33,7±0,13*
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	0,67±0,06	0,43±0,03*	0,67±0,03
Мочевая кислота, мкмоль/л / Uric acid, mkmol/l	161,1±87,7	215,2±40,3*	285,9±25,9**
Магний, ммоль/л / Magnesium, mmol/l	1,33±0,03	1,04±0,02*	1,44±0,01
Кальций, ммоль/л / Calcium, mmol/l	1,54±0,51	2,36±0,11**	2,63±0,06*
Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/l	1,13±0,54	1,21±0,08	1,42±0,03**
Железо, мкмоль/л / Iron, mkmol/l	16,1±3,0	21,7±1,78*	23,9±0,99*

Примечание: * – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$ при сравнении контрольной с I и II опытной группой
 Note: * – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$ comparing the control with I and II experimental group

Анализ минерального обмена показал, что концентрация микро- и макроэлементов изменялась в каждой из исследуемых групп. Концентрация Са увеличилась в I (53,24 %), во II (72,18 %) относительно контроля. Уровень Р изменялся в пределах 1,13-1,42 ммоль/л и был достоверно выше во II опытной группе цыплят на 25,66 % относительно птицы контрольной группы. Содержание Fe у цыплят контрольной группы было ниже физиологической нормы и составило 16,1 мкмоль/л. Концентрация Fe была достоверно выше во II опытной группе цыплят на 48,44 % ($P \leq 0,05$) относительно контрольной птицы.

Обсуждение полученных результатов.

Эффект увеличения роста цыплят II опытной группы на фоне минимального коэффициента расхода корма на 1 кг продукции – 1,21, аналогичный ростостимулирующий эффект был получен исследователями при испытании в качестве добавки НЧ Fe, Cu, Zn (Сизова ЕА и др., 2018).

Увеличение массы цыплят-бройлеров связано с интенсификацией обменных процессов за счёт медленного высвобождения железа из наночастиц, сохранения содержания этого элемента в крови и особенностями клеточного поглощения нано- и растворимых форм металлов (Xin W, 2013). Усиление эффекта микрочастиц пробиотическим препаратом во многом зависит от кишечного пищеварения. Априори, железо в кишечнике способно всасываться посредством эндоцитоза в составе сложных комплексов, например, ферритина растительного происхождения (Liu X and Theil EC, 2005).

Интенсивность высвобождения металлов из наночастиц ниже в сравнении с ионными формами, что даёт основание рассматривать наночастицы металлов как выгодную альтернативу минеральным солям (например, в качестве источника микроэлементов) (Arosio P et al., 2015).

Относительно низкая степень высвобождения металла из микроформ и более низкая способность энтероцитов удерживать металлы в виде наночастиц (Pereira DI, 2013) оказывают пролонгированное действие на показатели метаболизма (Hurrell RF, 2011; Lomer MCE and Cook WB, 2012).

Конкуренция за гемовое железо между клетками крови и пулом экзogenous бактерий, возможно, стала причиной снижения гемоглобина. Это в целом согласуется с ранее полученными данными по оценке биологического действия частиц железа и меди на организм цыплят-бройлеров (Sizova E et al., 2015, Русакова Е.А. и Лебедев С.В., 2016).

Современная модель поглощения гема состоит из 4 явлений: 1) эритроциты лизируются бактериальными ферментами с освобождением гемоглобина; 2) секретируемые гемофоры или поверхностные клеточные белковые рецепторы извлекают гем из гемоглобина хозяина; 3) извлечённый гем передаётся в цитозоль транспортёрами бактериальной оболочки и 4) железо освобождается в цитоплазму из гемопорфирина под действием геммооксигеназ (Xin W et al., 2013, Huang RL et al., 2005).

Кроме того, несвязанное железо является индуктором перекисного окисления липидов и перекисной деструкции белков. Металлы в микрочастицах, имея низкую степень высвобождения и скорость усвояемости, тем самым исключают токсическое воздействие на организм и кишечную микрофлору (Contreras H et al., 2014). Тем более что усиление эффекта при включении пробиотического препарата сопровождалось увеличением живой массы, общего белка, микро- и макроэлементов в сыворотке крови. Выявленные экспериментальные факты, по нашему мнению, указывают на более высокую доступность и продуктивное действие препарата микрочастиц Fe и пробиотического препарата.

Выводы.

Таким образом, проведённые исследования свидетельствуют о возможной оптимизации минерального питания сельскохозяйственной птицы на основе использования микрочастиц железа и с невелированием нагрузки на кишечную микрофлору путём включения в рацион пробиотического препарата соя-бифидум.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и образования Оренбургской области (Соглашение № 34 от 14 августа 2019 г.).

Литература

1. Биологические эффекты, связанные с поступлением в организм цыплят-бройлеров наночастиц хрома в разной дозировке / С.В. Лебедев, И.А. Гавриш, И.З. Губайдуллина, С.В. Шабунин // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 4. С. 820-831. doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.820eng [Lebedev SV, Gavrish IA, Gubajdullina IZ, Shabunin SV. Effects caused by different doses of dietary chromium nanoparticles fed to broiler chickens. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2019;54(4):820-831. (In Russ)]. doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.820eng
2. Влияние многократного введения наночастиц меди на элементный состав печени крыс / Е.А. Сизова, С.А. Мирошников, С.В. Лебедев, Н.Н. Глущенко // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2012. № 6(142). С. 188-190. [Sizova EA, Miroshnikov SA, Lebedev SV, Glushchenko NN. The effect of repeated administration of copper nanoparticles on the elemental composition of rat liver. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2012;6(142):188-190. (In Russ)].
3. Влияние ультрадисперсных частиц хрома и пиколината хрома на гематологические показатели крови лабораторных животных / С.В. Лебедев, И.А. Гавриш, О.В. Кван, Е.А. Русакова, И.З. Губайдуллина // *Технологии живых систем*. 2018. Т. 15. № 4. С. 57-61. [Lebedev SV, Gavrish IA, Kwan OV, Rusakova EA, Gubaidullina IZ. The effect of nanoparticles chromium and chromium picolinate on hematological parameters of blood in laboratory animals. *Technologies of Living Systems*. 2018;15(4):57-61. (In Russ)].
4. Лебедев С.В., Барышева Е.С., Малышева Н.В. Степень накопления и особенности взаимодействия токсичных и эссенциальных элементов в организме лабораторных животных (экспериментальные исследования) // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2006. № 2(52). С. 33-35. [Lebedev SV, Barysheva ES, Malysheva NV. Degree of accumulation and peculiarities of toxic and essential elements interaction in organism of laboratory animals (experimental researches). *Vestnik of the Orenburg State University*. 2006;2(52):33-35. (In Russ)].
5. Методические указания по оптимизации рецептов комбикормов для сельскохозяйственной птицы / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Т.Н. Ленкова, Т.М. Околелова, Г.В. Игнатова и др. М.: ВНИТИП; 2009. 80 с. [Fisinin VI, Egorov IA, Lenkova TN, Okolelova TM, Ignatova GV, et al. *Metodicheskie ukazaniya po optimizatsii retseptov kombikormov dlya sel'skokhozyaistvennoi ptitsy*. Moscow: VNI TIP; 2009:80 p. (In Russ)].
6. Нестеров Д.В., Сипайлова О.Ю., Лебедев С.В. Влияние сульфата и микрочастиц цинка на обмен токсических элементов в костной ткани цыплят-бройлеров // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2012. № 6(142). С. 176-179. [Nesterov DV, Sipailova OYu, Lebedev SV.

Influence of the sulphate and mikrochastic zinc on exchange toksicheskikh elements in bone fabrics cypliat-broiler. Vestnik of the Orenburg State University. 2012;6(142):176-179. (*In Russ*).

7. Никитин А.Ю., Лебедев С.В., Гречкина В.В. Влияние ферментного препарата Ровабио на переваримость, рост и морфобиохимические показатели крови у цыплят-бройлеров кросса «Смена-7» // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 2(76). С.247-249. [Nikitin AYU, Lebedev SV, Grechkina VV. Effect of rovakio enzyme preparation on the digestibility, growth and morpho-biochemical blood parameters of broiler chickens of the Smena-7 cross. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019;2(76):247-249. (*In Russ*)].

8. Никитин А.Ю., Маркова И.В., Лебедев С.В. Морфобиохимические показатели крови бройлеров при коррекции рациона тритикале и ферментными препаратами Ронозим и Ровабио // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 1. С. 171-177. [Nikitin AYU, Markova IV, Lebedev SV. Morphobiochemical indicators of broiler blood after correction of diet with triticale and enzymatic preparations Ronozim and Rovabio. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(1):171-177. (*In Russ*)].

9. Особенности влияния биологически активных препаратов на содержание химических элементов в теле кур-несушек / С.А. Мирошников, О.Н. Суханова, С.В. Лебедев, О.В. Кван, О.Ю. Сипайлова // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6(100). С. 244-248. [Miroshnikov SA, Sukhanova ON, Lebedev SV, Kwan OV, Sipailova OYu. Features of the influence of biologically active drugs on the content of chemical elements in the body of laying hens. Vestnik Orenburg State University. 2009;6(100):244-248. (*In Russ*)].

10. Русакова Е.А., Лебедев С.В. Влияние фитазы на рост и обмен энергии в организме цыплят-бройлеров // Вестник мясного скотоводства. 2016. № 2(94). С. 100-107. [Rusakova EA, Lebedev SV. Influence of phase on growth and energy metabolism in the body of broiler chickens. Herald of Beef Cattle Breeding. 2016;2(94):100-107. (*In Russ*)].

11. Сравнительные испытания ультрадисперсного сплава, солей и органических форм Cu и Zn как источников микроэлементов в кормлении цыплят-бройлеров / Е.А. Сизова, С.А. Мирошников, С.В. Лебедев, Ю.И. Левахин, И.А. Бабичева, В.И. Косилов // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 2. С. 393-403. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.393eng [Sizova EA, Miroshnikov SA, Lebedev SV, Levakhin YuI, Babicheva IA, Kosilov VI. Comparative tests of various sources of microelements in feeding chicken-broilers. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology], 2018;53(2):393-403. (*In Russ*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.393eng

12. Arosio P, Carmona F, Gozzelino R, Maccarinelli F, Poli M. The importance of eukaryotic ferritins in iron handling and cytoprotection. Biochem J. 2015;472(1):1-15. doi: <https://doi.org/10.1042/BJ20150787>

13. Aslam MF, Frazer DM, Faria N, Bruggraber SFA, Wilkins SJ, Mirciov C, Powell JJ, Anderson GJ, Pereira DI. Ferroportin mediates the intestinal absorption of iron from a nanoparticulate ferritin core mimetic in mice. FASEB J. 2014;28(8):3671-3678. doi: <https://doi.org/10.1096/fj.14-251520>

14. Contreras H, Chim N, Credali A, Goulding CW. Heme uptake in bacterial pathogens. Curr Opin Chem Biol. 2014;19:34-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.12.014>

15. Hossain MB, Kelleher SL, Lönnerdal B. Maternal iron and zinc supplementation during pregnancy affects body weight and iron status in rat pups at weaning. J Nutr. 2011;141(5):798-804. doi: <https://doi.org/10.3945/jn.110.135681>

16. Huang RL, Yin YL, Wu GY. Effect of dietary oligochitosan supplementation on ileal digestibility of nutrients and performance in broilers. Poultry Sci. 2005;84(9):1383-1388. doi: <https://doi.org/10.1093/ps/84.9.1383>

17. Kvan OV, Gavrish IA, Lebedev SV, Korotkova AM, Miroshnikova EP, Serdaeva VA, Bykov AV, Davydova NO. Effect of probiotics on the basis of Bacillus subtilis and Bifidobacterium longum on the biochemical parameters of the animal organism. Environmental Science and Pollution Research. 2018;25(3):2175-2183. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0534-9>

18. Liu X, Theil EC. Ferritin as an iron concentrator and chelator target. Ann NY Acad Sci. 2005;1054(1):136-140. doi: <https://doi.org/10.1196/annals.1345.016>

19. Lomer MCE, Cook WB, Jan-Mohamed HJB, et al. Iron requirements based upon iron absorption tests are poorly predicted by haematological indices in patients with inactive inflammatory bowel disease. *Br J Nutr.* 2012;107(12):1806-1811. doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114511004971>
20. Ognik K, Stepiñowska A, Cholewiñska 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 Sci.* 2016;95(9):2045-2051. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pew200>
21. Pereira DI, Mergler BI, Faria N. Caco-2 cell acquisition of dietary iron(III) invokes a nanoparticulate endocytic pathway. *PLoS ONE.* 2013;8(11):e81250. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081250>
22. Rusakova E, Kosyan D, Sizova E, Miroshnikov S, Sipaylova O. Comparative evaluation of acute toxicity of nanoparticles of zinc, copper and their nanosystems using *Stylonychia mytilus*. *Oriental Journal of Chemistry.* 2015;31(Spl Edn):105-112. doi: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/31.Special-Issue1.13>
23. Sizova E, Yausheva E, Kosyn D, Miroshnikov S. Growth enhancement by intramuscular injection of elemental iron nano- and microparticles. *Modern Applied Science.* 2015; 9(10):17-26. doi: <https://doi.org/10.5539/mas.v9n10p17>
24. Wandersman C, Deleplaire P. Bacterial iron sources: from siderophores to hemophores. *Annu Rev Microbiol.* 2004;58:611-647. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.58.030603.123811>
25. Xin W, Xugang S, Xie C, Li J, Hu J, Yin YL, Deng ZY. The acute and chronic effects of monosodium l-glutamate on serum iron and total iron-binding capacity in the jugular artery and vein of pigs. *Biol Trace Elem Res.* 2013;153(1-3):191-195. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9668-x>
26. Zha LY, Zeng JW, Chu XW, Mao LM, Luo HJ. Efficacy of trivalent chromium on growth performance, carcass characteristics and tissue chromium in heat-stressed broiler chicks. *J Sci Food Agric.* 2009;89(10):1782-1786. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3656>
27. Zhao Y, Li L, Zhang PF, Liu XQ, Zhang WD, Ding ZP, Wang SW, Shen W, Min LJ, Hao ZH. Regulation of egg quality and lipids metabolism by zinc oxide nanoparticles. *Poultry Sci.* 2016;95(4):920-933. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pev436>
28. Zhou X, Wang Y. Influence of dietary nano elemental selenium on growth performance, tissue selenium distribution, meat quality, and glutathione peroxidase activity in Guangxi Yellow chicken. *Poultry Sci.* 2011;90(3):680-686. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00977>
29. Hurrell RF. Safety and efficacy of iron supplements in malaria-endemic areas. *Ann Nutr Metab.* 2011;59:64-66. doi: <https://doi.org/10.1159/000332140>

References

1. Lebedev SV, Gavrish IA, Gubajdullina IZ, Shabunin SV. Effects caused by different doses of dietary chromium nanoparticles fed to broiler chickens. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2019;54(4):820-831. (*In Russ*). doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.820eng.
2. Sizova EA, Miroshnikov SA, Lebedev SV, Glushchenko NN. The effect of repeated administration of copper nanoparticles on the elemental composition of rat liver. *Vestnik of the Orenburg State University.* 2012;6(142):188-190. (*In Russ*).
3. Lebedev SV, Gavrish IA, Kwan OV, Rusakova EA, Gubaidullina IZ. The effect of nanoparticles chromium and chromium picolinate on hematological parameters of blood in laboratory animals. *Technologies of Living Systems.* 2018;15(4):57-61.
4. Lebedev SV, Barysheva ES, Malysheva NV. Degree of accumulation and peculiarities of toxic and essential elements interaction in organism of laboratory animals (experimental researches). *Vestnik of the Orenburg State University.* 2006;2(52):33-35.
5. Fisinin VI, Egorov IA, Lenkova TN, Okolelova TM, Ignatova GV, et al. Guidelines for optimizing compound feed recipes for poultry. Moscow: VNITIP; 2009. 80 p.
6. Nesterov DV, Sipailova OYu, Lebedev SV. Influence of the sulphate and mikrochastic zinc on exchange toksicheskikh elements in bone fabrics cyplyat-broiler. *Vestnik of the Orenburg State University.* 2012;6(142):176-179.

7. Nikitin AYu, Lebedev SV, Grechkina VV. Effect of rovbio enzyme preparation on the digestibility, growth and morpho-biochemical blood parameters of broiler chickens of the Smena-7 cross. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;2(76):247-249.
8. Nikitin AYu, Markova IV, Lebedev SV. Morphobiochemical indicators of broiler blood after correction of diet with triticale and enzymatic preparations Ronozim and Rovbio. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(1):171-177.
9. Miroshnikov SA, Sukhanova ON, Lebedev SV, Kwan OV, Sipailova OYu. Features of the influence of biologically active drugs on the content of chemical elements in the body of laying hens. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2009;6(100):244-248.
10. Rusakova EA, Lebedev SV. Influence of phase on growth and energy metabolism in the body of broiler chickens. *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2016;2(94):100-107.
11. Sizova EA, Miroshnikov SA, Lebedev SV, Levakhin YuI, Babicheva IA, Kosilov VI. Comparative tests of various sources of microelements in feeding chicken-broilers. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2018;53(2):393-403. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.393eng
12. Arosio P, Carmona F, Gozzelino R, Maccarinelli F, Poli M. The importance of eukaryotic ferritins in iron handling and cytoprotection. *Biochem J*. 2015;472(1):1-15. doi: <https://doi.org/10.1042/BJ20150787>
13. Aslam MF, Frazer DM, Faria N, Bruggraber SFA, Wilkins SJ, Mirciov C, Powell JJ, Anderson GJ, Pereira DI. Ferroportin mediates the intestinal absorption of iron from a nanoparticulate ferritin core mimetic in mice. *FASEB J*. 2014;28(8):3671-3678. doi: <https://doi.org/10.1096/fj.14-251520>
14. Contreras H, Chim N, Credali A, Goulding CW. Heme uptake in bacterial pathogens. *Curr Opin Chem Biol*. 2014;19:34-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.12.014>
15. Hossain MB, Kelleher SL, Lönnnerdal B. Maternal iron and zinc supplementation during pregnancy affects body weight and iron status in rat pups at weaning. *J Nutr*. 2011;141(5):798-804. doi: <https://doi.org/10.3945/jn.110.135681>
16. Huang RL, Yin YL, Wu GY. Effect of dietary oligochitosan supplementation on ileal digestibility of nutrients and performance in broilers. *Poultry Sci*. 2005;84(9):1383-1388. doi: <https://doi.org/10.1093/ps/84.9.1383>
17. Kvan OV, Gavrish IA, Lebedev SV, Korotkova AM, Miroshnikova EP, Serdaeva VA, Bykov AV, Davydova NO. Effect of probiotics on the basis of *Bacillus subtilis* and *Bifidobacterium longum* on the biochemical parameters of the animal organism. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(3):2175-2183. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0534-9>
18. Liu X, Theil EC. Ferritin as an iron concentrator and chelator target. *Ann NY Acad Sci*. 2005;1054(1):136-140. doi: <https://doi.org/10.1196/annals.1345.016>
19. Lomer MCE, Cook WB, Jan-Mohamed HJB, et al. Iron requirements based upon iron absorption tests are poorly predicted by haematological indices in patients with inactive inflammatory bowel disease. *Br J Nutr*. 2012;107(12):1806-1811. doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114511004971>
20. 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 Sci*. 2016;95(9):2045-2051. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pew200>
21. Pereira DI, Mergler BI, Faria N. Caco-2 cell acquisition of dietary iron(III) invokes a nanoparticulate endocytic pathway. *PLoS ONE*. 2013;8(11):e81250. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081250>
22. Rusakova E, Kosyan D, Sizova E, Miroshnikov S, Sipaylova O. Comparative evaluation of acute toxicity of nanoparticles of zinc, copper and their nanosystems using *Stylonychia mytilus*. *Oriental Journal of Chemistry*. 2015;31(Spl Edn):105-112. doi: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/31.Special-Issue1.13>
23. Sizova E, Yausheva E, Kosyn D, Miroshnikov S. Growth enhancement by intramuscular injection of elemental iron nano- and microparticles. *Modern Applied Science*. 2015; 9(10):17-26. doi: <https://doi.org/10.5539/mas.v9n10p17>
24. Wandersman C, Delepelaire P. Bacterial iron sources: from siderophores to hemophores. *Annu Rev Microbiol*. 2004;58:611-647. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.58.030603.123811>

25. Xin W, Xugang S, Xie C, Li J, Hu J, Yin YL, Deng ZY. The acute and chronic effects of monosodium l-glutamate on serum iron and total iron-binding capacity in the jugular artery and vein of pigs. *Biol Trace Elem Res.* 2013;153(1-3):191-195. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9668-x>

26. Zha LY, Zeng JW, Chu XW, Mao LM, Luo HJ. Efficacy of trivalent chromium on growth performance, carcass characteristics and tissue chromium in heat-stressed broiler chicks. *J Sci Food Agric.* 2009;89(10):1782-1786. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3656>

27. Zhao Y, Li L, Zhang PF, Liu XQ, Zhang WD, Ding ZP, Wang SW, Shen W, Min LJ, Hao ZH. Regulation of egg quality and lipids metabolism by zinc oxide nanoparticles. *Poultry Sci.* 2016;95(4):920-933. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pev436>

28. Zhou X, Wang Y. Influence of dietary nano elemental selenium on growth performance, tissue selenium distribution, meat quality, and glutathione peroxidase activity in Guangxi Yellow chicken. *Poultry Sci.* 2011;90(3):680-686. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00977>

29. Hurrell RF. Safety and efficacy of iron supplements in malaria-endemic areas. *Ann Nutr Metab.* 2011;59:64-66. doi: <https://doi.org/10.1159/000332140>

Лебедев Святослав Валерьевич, доктор биологических наук, заместитель директора, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-345-87-38, e-mail: lsv74@list.ru; доцент кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13

Мирошникова Елена Петровна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии животного сырья и аквакультуры, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13, e-mail: elenaakva@rambler.ru

Гречкина Виктория Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры различных болезней животных, Оренбургский государственный аграрный университет, 460014, ул. Челюскинцев, 18; научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, тел.: 8-922-877-14-97, e-mail: Viktoria1985too@mail.ru

Муслюмова Дина Марсельевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-72, e-mail: icvniims@mail.ru

Курилкина Марина Яковлевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-72, e-mail: K_marina4@mail.ru

Поступила в редакцию 5 ноября 2019 г.; принята после решения редколлегии 16 декабря 2019 г.; опубликована 31 декабря 2019 г. / Received: 5 November 2019; Accepted: 15 October 2019; Published: 31 December 2019