

УДК 636.5:577.17

DOI: 10.33284/2658-3135-102-4-23

**Влияние хромсодержащих ультрадисперсных частиц на морфофункциональные особенности организма цыплят-бройлеров**

*С.В. Лебедев<sup>1,2</sup>, И.З. Губайдуллина<sup>1</sup>, И.А. Вершинина<sup>1</sup>, А.М. Макаева<sup>1</sup>,  
И.В. Маркова<sup>1</sup>, Т.А. Климова<sup>1,2</sup>, Т.П. Богадица<sup>1</sup>, С.Л. Соколай<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)*

<sup>2</sup>*Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)*

**Аннотация.** Хром является эссенциальным элементом, способным улучшить продуктивность животных, качество туши, репродуктивную функцию и иммунитет животных.

Целью исследования стала оценка воздействия хромосодержащих ультрадисперсных частиц (УДЧ) на морфофункциональные особенности организма цыплят-бройлеров для определения оптимальных концентраций для внесения в качестве кормовых добавок.

Рассмотрено влияние хромосодержащих УДЧ (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) на ростовые, биохимические показатели организма и микробиологический статус кишечника на 5 группах цыплят-бройлеров «Арбор Ай-крес».

Установлено увеличение роста при добавлении в рацион 200 и 400 мкг/кг хромсодержащих УДЧ. УДЧ в виде кормовой добавки не вызывали окислительного стресса и стимулировали рост NO-метаболитов в сыворотке крови до 18 % по сравнению с контролем (P≤0,05).

Уровень триглицеридов в крови бройлеров, получавших хромсодержащие УДЧ в дозе 100 и 400 мкг/кг, был выше на 61,6 % и 48,5 % в сравнении с контрольными значениями. Концентрация 50 мкг/кг способствовала снижению числа бифидобактерий и лактобактерий в помёте, при 100 мкг/кг – рост числа энтеробактерий, но уменьшение сальмонелл, при 200 мкг/кг, наоборот, рост численности стафилококков, энтеробактерий, сальмонелл и одновременное уменьшение бифидо- и лактобактерий.

**Ключевые слова:** хром, цыплята-бройлеры, кормление, биохимические показатели, метаболиты крови, микробиологический статус кишечника, рост.

UDC 636.5:577.17

**The effect of chromium-containing ultrafine particles on the morphofunctional characteristics of organism of broiler chickens**

*Svyatoslav V Lebedev<sup>1,2</sup>, Ilmira Z Gubaidullina<sup>1</sup>, Irina A Vershinina<sup>1</sup>, Aina M Makaeva<sup>1</sup>,  
Irina V Markova<sup>1</sup>, Tatiana A Klimova<sup>1,2</sup>, Tatiana P Bogaditsa<sup>1</sup>, Svetlana L Sokolay<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences*

<sup>2</sup>*Orenburg State University (Orenburg, Russia)*

**Summary.** Chromium is an essential element that can improve animal productivity, carcass quality, reproductive function and animal immunity.

The aim of study was to assess the effect of chromium-containing ultrafine particles (UFP) on morphological and functional characteristics of organism of broiler chickens in order to determine the optimal concentrations for application as feed additives.

The influence of chromium-containing UFP (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) on growth, biochemical parameters of body and microbiological status of the intestine in 5 groups of broilers "Arbor Akres" is considered.

An increase in growth was established after 200 and 400 µg/kg of chromium-containing UFP was added to the diet. UFP in the form of feed additive did not cause oxidative stress and stimulated the growth of NO metabolites in blood serum up to 18%, compared with the control (P≤0.05).

The level of triglycerides in the blood of broilers fed with chromium-containing UFP at a dose of 100 and 400 µg/kg was higher by 61.6% and 48.5% compared to control values. A concentration of 50 µg/kg contributed to a decrease in the number of bifidobacteria and lactobacilli in the litter, at 100 µg/kg - an increase in the number of enterobacteria, but a decrease in salmonella at 200 µg/kg, on the contrary, an increase in the number of staphylococci, enterobacteria, salmonella and a simultaneous decrease in bifidobacteria and lactobacilli.

**Key words:** chromium, broiler chickens, feeding, biochemical parameters, blood metabolites, intestinal microbiological status, growth.

### **Введение.**

Развитие нанотехнологий расширяет спектр размерных объектов, которые могут стать альтернативой для замены традиционных источников микроэлементов в рационах питания птиц (Сизова Е.А и др., 2018; Сизова Е.А. и Яушева Е.В., 2019). С учётом высокой биодоступности уровень УДЧ в рационах, с одной стороны, удовлетворяет потребность, а с другой, исключает токсичность для обеспечения безопасности. Так, одним из важных химических сырьевых материалов является хром. Имеются данные, что он улучшает продуктивность животных, качество туши, репродуктивную функцию и иммунитет животных (Zha L et al., 2009; Gładysz-Płaska A et al., 2012; Shahid M et al., 2017; Wang Y et al., 2017). В настоящее время однозначные рекомендации по потребности Cr в корме для домашней птицы не обозначены (Peters HJ et al., 1982; Губайдуллина И.З. и др., 2018; Лебедев С.В. и др., 2019, Лебедев С.В. и др., 2018; Губайдуллина И.З. и др., 2019).

Хром способен снижать концентрацию глюкозы и холестерина в крови, уменьшать жировые отложения, стимулирует функцию инсулина, усиливая функцию рецепторов, чувствительных к инсулину клеток (Onderci M et al., 2005), а его недостаточное поступление сопровождается замедлением роста и ухудшением толерантности к глюкозе (Simonoff M et al., 1984).

Трёхвалентный и шестивалентный хром соединяется с альбумином и транспортируется в систему кровообращения (Zhang J et al., 2012; Sarkar S et al., 2013; Fang Z et al., 2014), распределяясь в сердце, печени, лёгких, селезёнке, почках и в других тканях, является потенциальным иммуномодулятором (Zha L et al., 2009).

### **Цель исследования.**

Оценить воздействие хромосодержащих УДЧ на морфофункциональные особенности организма цыплят-бройлеров для определения оптимальных концентраций внесения данного вещества в качестве кормовых добавок.

### **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 проведены в условиях лаборатории биологических испытаний и экспертиз ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» на цыплятах-бройлерах кросса «Арбор Айкрес» (ЗАО «Птицефабрика Оренбургская», Россия, www.pfo56.ru).

Методом пар-аналогов в возрасте 7 суток были отобраны 5 групп цыплят по 150 голов в каждой (n=25, масса – от 160 до 180 г). Составление рационов основывалось на рекомендациях ВНИТИП (2010). Состав основного рациона (ОР, %) в стартовом и ростовом периоде составил: 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 %), монокальцийфосфат (0,7 и 0,7 %), мел кормовой (0,5 и 0,4 %), известняковая мука (1,0 и 0,7 %).

Контрольная птица в период эксперимента получала ОР (без хрома). Цыплята-бройлеры опытных групп – хромсодержащие УДЧ различной дозировки: I группа – 50 мкг/кг, II – 100 мкг/кг, III – 200 мкг/кг и IV – 400 мкг/кг.

Комбикорм готовили методом ступенчатого смешивания, хромсодержащие УДЧ вводили после 30 мин диспергирования в физиологическом растворе с помощью УЗДН-2Т («НПП Академприбор», Россия) (35 кГц, 300 Вт, 10 мкА, 30 мин).

Содержание витаминов и минеральных солей нормировали с помощью премиксов П5 и П6 (соответственно для птицы в возрасте до 28 сут и старше) (ООО «Коудайс МКорма», Россия), включающих витамины А, D, E, К3, В1, В2, В3, В4, В5, В6, В12, Вc и Н; микроэлементы Fe, Mn, Cu, Zn, V, Cu.

Дозировки от 50 до 400 мкг/кг корма выбраны с учётом ранее полученного положительного эффекта влияния хрома на рост и биохимические показатели цыплят-бройлеров (Preuss HG et al., 1997). Проводили послеубойную анатомическую разделку тушек по методике ВНИТИП.

Метод получения хромосодержащих УДЧ – плазмохимический синтез, размер – 91 нм, удельная поверхность – 9 м<sup>2</sup>/г, Z-потенциал – 93±0,52 мВ, содержали 99,8 % Cr (ООО «Платина», г. Москва).

Эксперимент на птицах проводился в 3-кратной повторности.

**Оборудование и технические средства.** Морфобиохимические показатели крови определяли с помощью автоматических гематологических анализаторов: модель URIT-2900 Vet Plus («URIT Medial Electronic Co., Ltd», Китай) и CS-T240 («DIRUI Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческих наборов для ветеринарии ДиаВетТест (Россия) и Randox Laboratories Limited (United Kingdom).

Уровень NO-метаболитов в плазме крови определяли на микропланшетном анализаторе Infinite PRO F200 (TECAN, Австрия) при длине волны 540 нм. Микробиологические исследования проводили при высеве содержимого слепой кишки цыплят-бройлеров на плотные питательные среды с подсчетом КОЕ. Общее микробное число определяли на мясо-пептонном агаре, количество стафилококков – на желточно-солевом агаре, энтеробактерий – на среде Эндо, сальмонелл – на среде Плоскирева, бифидобактерий – на бифидоагаре, лактобактерий – на среде MRS, целлюлозоразлагающих бактерий – на среде Гетчисона.

**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. Статистическая обработка включала расчёт среднего значения (M) и стандартные ошибки среднего (±SEM). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на P≤0,05.

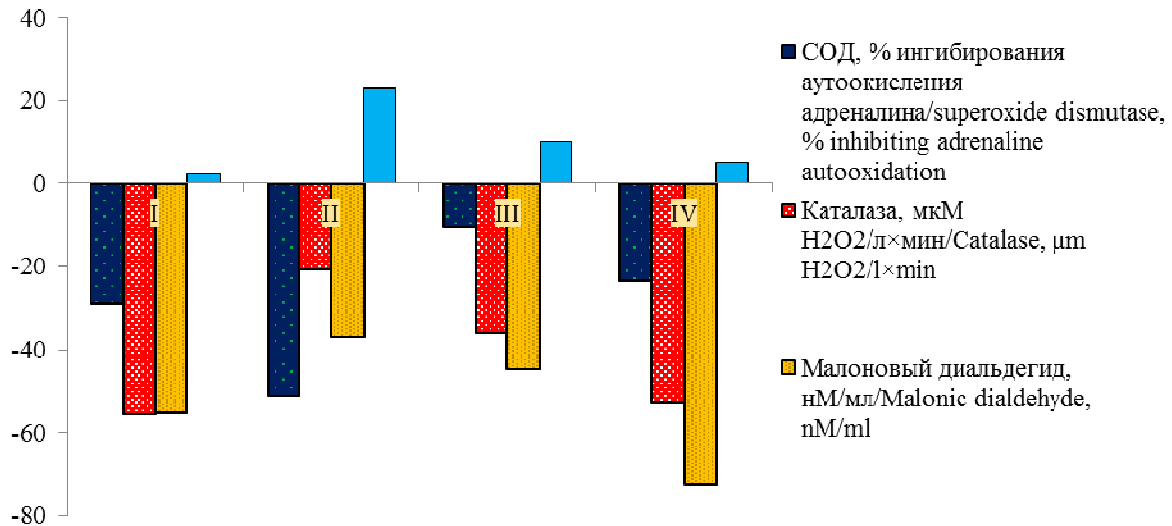
### **Результаты исследования.**

Добавление в рацион хромосодержащих УДЧ в различной дозировке сопровождалось увеличением роста в III и IV опытных группах при абсолютном приросте живой массы 2308,83±20,6 и 2304±28,7 г, что превышало показатели в контроле на 12 и 11 % (P≥0,05). Интенсивность роста в I и II опытных группах отличалась от контрольных значений на 5-7 % (P≥0,05).

Введение хромосодержащих УДЧ в корм не вызвало окислительный стресс, на что указывали показатели активности каталазы (КАТ), супероксиддисмутазы (СОД) и малонового диальдегида (МДА) (рис. 1).

На фоне снижения активности СОД во всех опытных группах достоверные различия с контролем были характерны для II опытной группы (51,3 %), уровень активности КАТ был стабильно низким и уменьшался в ответ на увеличение хромосодержащих УДЧ в рационе. Отсутствие токсичности и ростостимулирующий эффект хромосодержащих УДЧ определялся нарастанием NO-метаболитов во II и III опытных группах на 18,8 и 9,2 % относительно контрольной группы

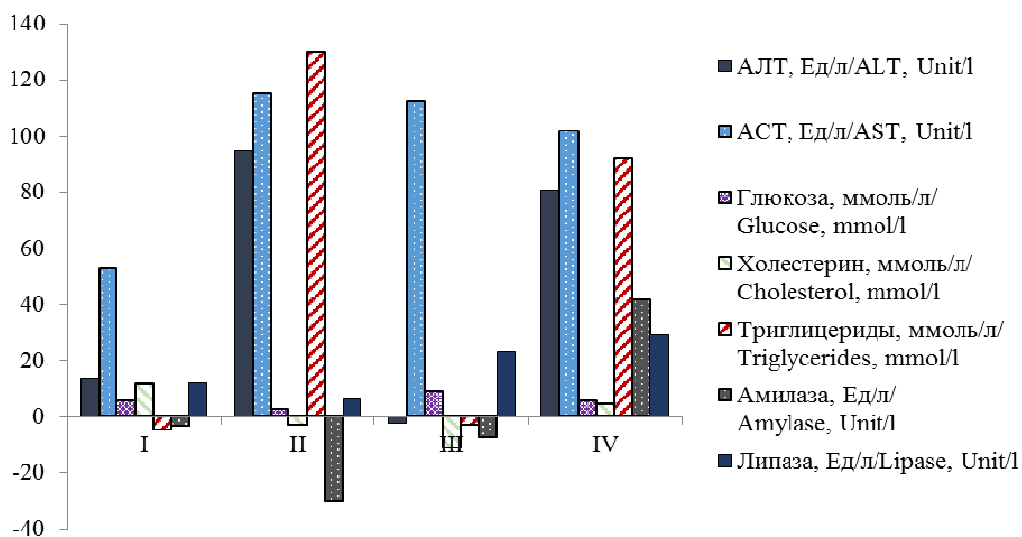
( $P \leq 0,05$ ). В других группах цифровые показатели по сравнению с контролем не превышали 5 % барьер.



**Рис. 1 – Содержание каталазы, супероксиддисмутазы и малонового диальдегида и NO-метаболитов в сыворотке крови цыплят-бройлеров Арбор Айткрес в зависимости от дозы хромосодержащих УДЧ в рационе**

**Figure 1 – Content of catalase, superoxide dismutase and malonic dialdehyde and NO-metabolites in serum of broiler chickens Arbor Acres depending on the dose of chromium-containing UFP in the diet**

Эффект хромосодержащих УДЧ выражался в стимуляции активности аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспаратаминотрансферазы (АСТ). Так, уровень АЛТ в II и IV группах был практически в 2 раза выше, чем в контроле ( $P \leq 0,05$ ). В случае с АСТ различия были сопоставимы с уровнем хромосодержащих УДЧ в рационе, достоверные различия в 3,5 раза ( $P \leq 0,05$ ) были характерны для дозы 100 и 200 мкг/кг. Реакция глюкозы и холестерина на введение хромосодержащих УДЧ отсутствовала. Отличия в механизме действия хромосодержащих УДЧ в различных дозировках приводили к неодинаковым изменениям биохимических показателей крови (рис. 2).



**Рис. 2 – Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров**  
**Figure 2 – Biochemical blood parameters of broiler chickens**

Маркером энергетического и липидного обменов является уровень триглицеридов в крови. У бройлеров, получавших в составе рациона хромсодержащие УДЧ в дозе 100 и 400 мкг/кг, по сравнению с контролем их значения были больше на 61,6 % и 48,5 % соответственно.

Активность амилолитических ферментов в крови была наибольшей в IV опытной группе, разница с контрольными значениями составила 29,5 % ( $P \leq 0,05$ ). В других группах существенных отличий обнаружено не было. Аналогичная динамика была характерна для липазы. В группах, получавших наибольшие дозировки хромсодержащих УДЧ (200 и 400 мкг/кг), её активность была выше контрольных значений, причиной увеличения активности сывороточных ферментов может быть результат синтеза или ресинтеза микронутриентов, повышения проницаемости клеточных мембран и транслокации пищеварительных ферментов в кровяное русло.

Микрофлора слепой кишки бройлеров показала значительное подавление в численности общего числа микроорганизмов на 88,4 %, (400 мкг/кг корма), а также энтеробактерий и бифидобактерий (на 28 и 65,4 % соответственно) и увеличение числа сальмонелл на 21,7 % (рис. 3).

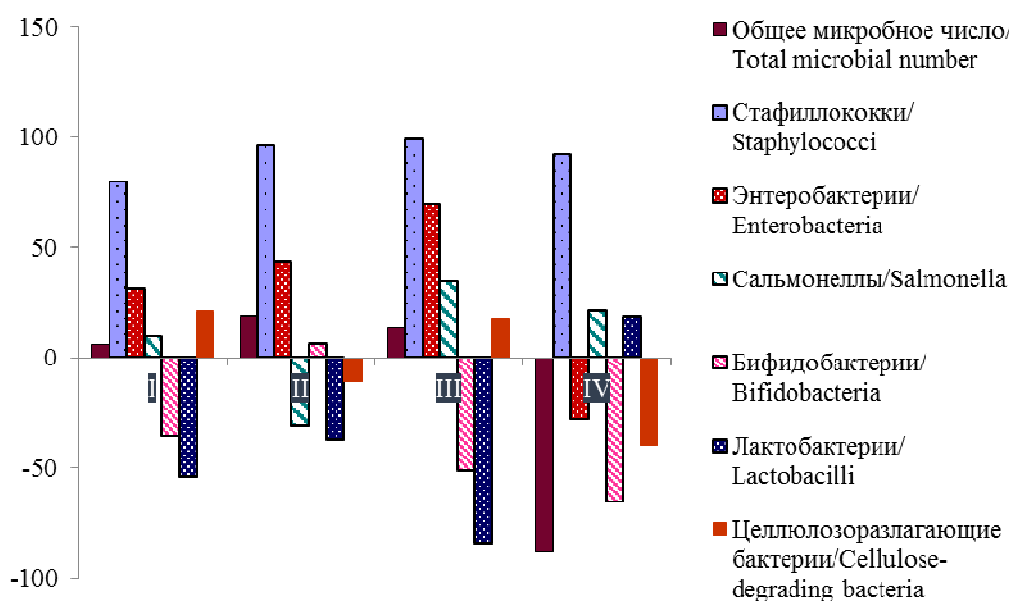


Рис. 3 – Численность различных групп микроорганизмов в слепой кишке цыплят-бройлеров кросса Арбор Айкрес

Figure 3 – The number of different groups of microorganisms in the cecum in broiler chickens cross Arbor Acres

При концентрации 50 мкг/кг снижалась численность бифидо- и лактобактерий (на 35,6 и 53,8 % соответственно). Концентрация 100 мкг/кг увеличивала количество энтеробактерий, но снижало число сальмонелл.

Концентрация 200 мкг/кг способствовала росту численности стафилококков, энтеробактерий, сальмонелл, одновременно уменьшая число бифидо- и лактобактерий.

#### Обсуждение полученных результатов.

В современном животноводстве наблюдается тенденция к замене традиционных минеральных источников микроэлементов на новые наноформы, что обусловлено их лучшей усвояемостью, биодоступностью и пролонгированным действием (Asheer M et al., 2018). Уменьшение размера частиц хрома может увеличить скорость переваривания и абсорбции. Lien TF (2009) с соавторами установили, что наночастицы пиколината хрома значительно лучше усваивались по сравнению с обычным пиколинатом Cr, что приводило к повышению содержания хрома в сыворотке крови у животных. При включении наночастиц хрома в рацион животных увеличивалась площадь длинной мышцы и содержание хрома в тканях, уменьшалось жировое соотношение и толщина

спинного жира (Li TY et al., 2017). В исследованиях на крысах наноразмерный хром значительно увеличил средний прирост массы тела, эффективность использования корма, концентрацию инсулина в сыворотке крови и содержание хрома в органах (Lien TF and Lan YS, 2019).

Как известно, хром является незаменимым эссенциальным микроэлементом (Underwood EJ, 1977), что было подтверждено в проведённом нами исследовании. Так, включение в рацион цыплят-бройлеров хромсодержащих УДЧ в диапазоне доз от 100 до 200 мкг/кг сопровождалось высокой активностью эндогенных трансфераз, что, с одной стороны, может являться признаками нарушения функции печени, почек и поджелудочной железы, но ввиду отсутствия реакции маркеров воспаления (СОД и КАТ), можно предположить, что метаболическая функция хрома может быть связана с тонкими механизмами его участия в стимулировании выработки хромодулина, который, акцептируя молекулы хрома из биологических молекул, стимулирует гепатопротекторную активность, не исключая роль и в синтезе белка (Zha LY et al., 2007). При введении УДЧ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в дозе 100 мкг/кг наблюдали повышение уровня триглицерида в крови.

Такая неоднозначная реакция организма, возможно, связана с оптимальным уровнем хрома для биохимических реакций и перестройкой ферментативной системы, а также дополнительной нагрузкой на митохондриальный аппарат клеток печени за счёт участия хрома в стимуляции скорости белкового и липидного обменов (Самохин В.Т., 2003). Стабильный уровень КАТ, СОД и МДА свидетельствует об отсутствии окислительного стресса. Увеличение NO-метаболитов в нашем исследовании согласовывалось с ранее полученными результатами (Сизова Е.А. и др., 2018).

Использование хрома в рационе снижало численность бифидо- и лактобактерий в помёте и увеличивало числа условно патогенных микроорганизмов, что свидетельствует о корректирующем влиянии хромсодержащих УДЧ на микробиоценоз кишечника.

### **Выводы**

По совокупности оцениваемых параметров использование ультрадисперсных частиц Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в рационе в диапазоне 100-200 мкг/кг обладало выраженным положительным эффектом и может быть рекомендовано как источник хрома для сельскохозяйственной птицы в предложенной дозировке. Таким образом, данное исследование даёт экспериментальную основу для практического применения хрома в качестве кормовой добавки у цыплят.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования по Оренбургской области (Областной грант в сфере научной и научно-технической деятельности № 19 от 14.08.2019)**

### **Литература**

1. 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, Kvan 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)]. doi: 10.18127/j20700997-201804-07
2. Воздействие ультрадисперсных частиц хрома различной дозировки на элементный статус цыплят-бройлеров / И.З. Губайдуллина, И.А. Гавриш, И.В. Маркова, А.С. Мустафина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 6(74). С. 263-265. [Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Markova IV, Mustafina AS. Effect of ultradispersed chrome particles of different dosage on the elemental status of broilers-chicks. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;6(74):263-265. (In Russ)].
3. Лебедев С.В., Гавриш И.А., Губайдуллина И.З. Морфо-биохимические показатели и активность пищеварительных ферментов у крыс линии Wistar под влиянием различных источников хрома // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 2. С. 304-315. doi:

10.15389/agrobiology.2019.2.304eng [Lebedev SV, Gavrish IA, Gubaydullina IZ. Different chrome sources influence on morpho-biochemical indicators and activity of digestive enzymes in Wistar rats. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. [Agricultural Biology]. 2019;54(2):304-315. (In Russ)]. doi: 10.15389/agrobiology.2019.2.304eng

4. Морфо-биохимические показатели цыплят-бройлеров при использовании наночастиц хрома / И.З. Губайдуллина, И.А. Гавриш, С.В. Лебедев, И.В. Маркова // Ветеринария и кормление. № 1. 2019 С. 6-9. [Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Lebedev SV, Markova IV. Morphological and biochemical indicators of broiler chickens when using chromium nanoparticles. Veterinaria i kormlenie. 2019;1:6-9. (In Russ)].

5. Самохин В.Т. Профилактика нарушений обмена микроэлементов у животных. Воронеж: Изд-во Воронеж. ГАУ, 2003. 136 с. [Samokhin VT. Profilaktika narushenii obmena mikroelementov u zhivotnykh. Voronezh: Izd-vo Voronezh. GAU; 2003: 136 p. (In Russ)].

6. Сизова Е.А., Бирюкова М.С., Данилова Ю.С. Эффективность применения наноразмерных форм микроэлементов в кормлении цыплят-бройлеров // Нанотехнологии в сельском хозяйстве: перспективы и риски: материалы междунар. науч.-практ. конф., (г. Оренбург, 26-27 сент. 2018 г.) / под общ. ред. чл.-корр. РАН С.А. Мирошникова. Оренбург: Изд-во ФНИЦ БСТ РАН, 2018. С. 145-149. [Sizova EA, Biryukova MS, Danilova YuS. The efficacy of nano forms of trace elements in the feeding of broiler chickens. (Conference proceedigs) Nanotekhnologii v sel'skom khozyaistve: perspektivy i riski: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (g. Orenburg, 26-27 sent. 2018 g.) pod obshch. red. chl.-korr. RAN Miroshnikova SA. Orenburg: Izd-vo: FNTs BST RAN; 2018: 145-149. (In Russ)].

7. 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. [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

8. 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. 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 Biologia [Agricultural Biology]. 2018;53(2):393-403. (In Russ)] doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.393eng

9. Asheer M, Manwar SJ, Gole MA, Sirsat S, Wade MR, Khose KK, Sajid SA Effect of dietary nano zinc oxide supplementation on performance and zinc bioavailability in broilers. Indian J Poult Sci. 2018;53(1):70-75. doi: <https://doi.org/10.5958/0974-8180.2018.00004.1>

10. Fang Z, Zhao M, Zhen H, Chen L, Shi P, Huang Z. Genotoxicity of tri- and hexavalent chromium compounds in vivo and their modes of action on DNA damage in vitro. PloS One. 2014;9(8):e103194. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103194>

11. Gładysz-Płaska A, Majdan M, Pikus S, Sternik D. Simultaneous adsorption of chromium (VI) and phenol on natural red clay modified by HDTMA. Chem Eng J. 2012;179:140-150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.10.071>

12. Li TY, Fu CM, Lien TF. Effects of nanoparticle chromium on chromium absorbability, growth performance, blood parameters and carcass traits of pigs. Anim Prod Sci. 2017;57(6):1193-1200. doi: <https://doi.org/10.1071/AN15142>

13. Lien TF, Lan YS. Effects of nanoparticle chromium mixed with  $\gamma$ -polyglutamic acid on the chromium bioavailability, growth performance, serum parameters and carcass traits of pigs. Anim Prod Sci. 2019;59(12):2222-2229. doi: <https://doi.org/10.1071/AN18441>

14. Lien TF, Yeh HS, Lu FY, Fu CM. Nanoparticles of chromium picolinate enhance chromium digestibility and absorption. J Sci Food Agric. 2009;89(7):1164-1167. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3569>

15. Onderci M, Sahin K, Sahin N, Cikim G, Vijaya J, Kucuk O. Effects of dietary combination of chromium and biotin on growth performance, carcass characteristics, and oxidative stress markers in heat-distressed Japanese quail. *Biol Trace Elem Res.* 2005;106(2):165-176. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:106:2:165>
16. Peters HJ, Köhler H, Duck HJ, Günther KR, Pankau H. Cadmium, cobalt, chromium, and experimental myocardial infarction. *Biol Trace Elem Res.* 1982;4(2-3):241-243. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02783263>
17. Preuss HG, Grojec PL, Lieberman S, Anderson RA. Effects of different chromium compounds on blood pressure and lipid peroxidation in spontaneously hypertensive rats. *Clinical Nephrology.* 1997;47(5):325-330.
18. Sarkar S, Satheshkumar A, Premkumar R. Hexavalent chromium (Cr (vi)) removal by live mycelium of a *Trichoderma harzianum* strain. *Mol Soil Biol.* 2013;4(1):1-6.
19. Shahid M, Shamsad S, Rafiq M, Khalid S, Bibi I, Niazi NK, Dumat C, Rashid MI. Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: a review. *Chemosphere.* 2017;178:513-533. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.074>
20. Simonoff M, Llabador Y, Hamon C, Peers AM, Simonoff GN. Low plasma chromium in patients with coronary artery and heart diseases. *Biol Trace Elem Res.* 1984;6(5):431-439. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02989260>
21. Underwood EJ. Trace elements in human and animal nutrition. 4th ed. New York, San Francisco, London: Academic Press; 1977: 560 p.
22. Wang Y, Liu Y, Wan H, Zhu Y, Chen P, Hao P, Cheng Z, Liu J. Moderate selenium dosing inhibited chromium (vi) toxicity in chicken liver. *J Biochem Mol Toxicol.* 2017;31(8):e21916. doi: <https://doi.org/10.1002/jbt.21916>
23. Zha L, Zeng J, Sun S, Deng H, Luo H, Li W. Chromium(III) nanoparticles affect hormone and immune responses in heat-stressed rats. *Biol Trace Elem Res.* 2009;129(1-3):157-169. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-008-8282-9>
24. Zha LY, Wang MQ, Xu ZR, Gu LY. Efficacy of chromium (III) supplementation on growth, body composition, serum parameters, and tissue chromium in rats. *Biol Trace Elem Res.* 2007;119(1):42-50. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-007-0042-8>
25. Zhang J, Sun HH, Zhang YZ, Yang LY, Dai J, Liu Y. Interaction of human serum albumin with indomethacin: spectroscopic and molecular modeling studies. *J Solution Chem.* 2012;41(3):422-435. doi: <https://doi.org/10.1007/s10953-012-9809-4>

#### References

1. Lebedev SV, Gavrish IA, Kvan 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. doi: 10.18127/j20700997-201804-07
2. Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Markova IV, Mustafina AS. Effect of ultradispersed chrome particles of different dosage on the elemental status of broilers-chicks. *Izvestia Orenburg State Agrarian University.* 2018;6(74):263-265.
3. Lebedev SV, Gavrish IA, Gubaidullina IZ. Different chrome sources influence on morpho-biochemical indicators and activity of digestive enzymes in Wistar rats. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. [Agricultural Biology].* 2019;54(2):304-315. (*In Russ*). doi: 10.15389/agrobiology.2019.2.304eng
4. Gubaidullina IZ, Gavrish IA, Lebedev SV, Markova IV. Morphological and biochemical indicators of broiler chickens when using chromium nanoparticles. *Veterinaria i kormlenie.* 2019;1:6-9.
5. Samokhin VT. Profilaktika narushenii obmena mikroelementov u zhivotnykh. Voronezh: Izdvo Voronezh. GAU; 2003: 136 p.
6. Sizova EA, Biryukova MS, Danilova YuS. The efficacy of nano forms of trace elements in the feeding of broiler chickens. (Conference proceedings) Nanotechnology in agriculture: prospects and risks: international materials. scientific-practical conf. (Orenburg, September 26-27. 2018). under total. ed. Corr. Mem. RAS Mirosnikov SA. Orenburg: Publishing House FRS BST RAS; 2018: 145-149.



7. 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
8. 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
9. Asheer M, Manwar SJ, Gole MA, Sirsat S, Wade MR, Khose KK, Sajid SA Effect of dietary nano zinc oxide supplementation on performance and zinc bioavailability in broilers. *Indian J Poult Sci*. 2018;53(1):70-75. doi: <https://doi.org/10.5958/0974-8180.2018.00004.1>
10. Fang Z, Zhao M, Zhen H, Chen L, Shi P, Huang Z. Genotoxicity of tri- and hexavalent chromium compounds in vivo and their modes of action on DNA damage in vitro. *PloS One*. 2014;9(8):e103194. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103194>
11. Gładysz-Płaska A, Majdan M, Pikus S, Sternik D. Simultaneous adsorption of chromium (VI) and phenol on natural red clay modified by HDTMA. *Chem Eng J*. 2012;179:140-150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.10.071>
12. Li TY, Fu CM, Lien TF. Effects of nanoparticle chromium on chromium absorbability, growth performance, blood parameters and carcass traits of pigs. *Anim Prod Sci*. 2017;57(6):1193-1200. doi: <https://doi.org/10.1071/AN15142>
13. Lien TF, Lan YS. Effects of nanoparticle chromium mixed with  $\gamma$ -polyglutamic acid on the chromium bioavailability, growth performance, serum parameters and carcass traits of pigs. *Anim Prod Sci*. 2019;59(12):2222-2229. doi: <https://doi.org/10.1071/AN18441>
14. Lien TF, Yeh HS, Lu FY, Fu CM. Nanoparticles of chromium picolinate enhance chromium digestibility and absorption. *J Sci Food Agric*. 2009;89(7):1164-1167. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3569>
15. Onderci M, Sahin K, Sahin N, Cikim G, Vijaya J, Kucuk O. Effects of dietary combination of chromium and biotin on growth performance, carcass characteristics, and oxidative stress markers in heat-distressed Japanese quail. *Biol Trace Elem Res*. 2005;106(2):165-176. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:106:2:165>
16. Peters HJ, Köhler H, Duck HJ, Günther KR, Pankau H. Cadmium, cobalt, chromium, and experimental myocardial infarction. *Biol Trace Elem Res*. 1982;4(2-3):241-243. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02783263>
17. Preuss HG, Grojec PL, Lieberman S, Anderson RA. Effects of different chromium compounds on blood pressure and lipid peroxidation in spontaneously hypertensive rats. *Clinical Nephrology*. 1997;47(5):325-330.
18. Sarkar S, Satheshkumar A, Premkumar R. Hexavalent chromium (Cr (vi)) removal by live mycelium of a *Trichoderma harzianum* strain. *Mol Soil Biol*. 2013;4(1):1-6.
19. Shahid M, Shamshad S, Rafiq M, Khalid S, Bibi I, Niazi NK, Dumat C, Rashid MI. Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: a review. *Chemosphere*. 2017;178:513-533. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.074>
20. Simonoff M, Llabador Y, Hamon C, Peers AM, Simonoff GN. Low plasma chromium in patients with coronary artery and heart diseases. *Biol Trace Elem Res*. 1984;6(5):431-439. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02989260>
21. Underwood EJ. Trace elements in human and animal nutrition. 4th ed. New York, San Francisco, London: Academic Press; 1977: 560 p.
22. Wang Y, Liu Y, Wan H, Zhu Y, Chen P, Hao P, Cheng Z, Liu J. Moderate selenium dosing inhibited chromium (vi) toxicity in chicken liver. *J Biochem Mol Toxicol*. 2017;31(8):e21916. doi: <https://doi.org/10.1002/jbt.21916>
23. Zha L, Zeng J, Sun S, Deng H, Luo H, Li W. Chromium(III) nanoparticles affect hormone and immune responses in heat-stressed rats. *Biol Trace Elem Res*. 2009;129(1-3):157-169. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-008-8282-9>

24. Zha LY, Wang MQ, Xu ZR, Gu LY. Efficacy of chromium (III) supplementation on growth, body composition, serum parameters, and tissue chromium in rats. *Biol Trace Elem Res.* 2007;119(1):42-50. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-007-0042-8>

25. Zhang J, Sun HH, Zhang YZ, Yang LY, Dai J, Liu Y. Interaction of human serum albumin with indomethacin: spectroscopic and molecular modeling studies. *J. Solution Chem.* 2012;41(3):422-435. doi: <https://doi.org/10.1007/s10953-012-9809-4>

**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; доцент кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: 8-912-345-87-38, e-mail: [lsv74@list.ru](mailto:lsv74@list.ru)

**Губайдуллина Ильмира Закиевна**, аспирант направления ветеринария и зоотехния, младший научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, e-mail: [gubaidullinae@mail.ru](mailto:gubaidullinae@mail.ru), тел.: 8-912-843-10-69

**Вершинина Ирина Александровна**, младший научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, e-mail: [gavrish.irina.ogu@gmail.com](mailto:gavrish.irina.ogu@gmail.com), тел.: 8-987-798-67-88

**Макаева Айна Маратовна**, младший научный сотрудник центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-919-842-46-99, e-mail: [auna.makaeva@mail.ru](mailto:auna.makaeva@mail.ru)

**Маркова Ирина Викторовна**, кандидат биологических наук, руководитель научно-образовательного центра, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, e-mail: [nocbst@mail.ru](mailto:nocbst@mail.ru); тел.: 8-961-047-40-26

**Климова Татьяна Андреевна**, специалист-техник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, ул. 9 Января 29; аспирант, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: +7-987-849-41-66, e-mail: [klimovat91@mail.ru](mailto:klimovat91@mail.ru).

**Богадица Татьяна Павловна**, специалист-техник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, ул. 9 Января 29, тел.: +7-905-885-51-30

**Соколай Светлана Леонидовна**, специалист-техник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, ул. 9 Января, 29, тел.: +79023655225, e-mail: [ssokolay82@mail.ru](mailto:ssokolay82@mail.ru)

Поступила в редакцию 13 декабря 2019 г.; принята после решения редколлегии 16 декабря 2019 г.; опубликована 31 декабря 2019 г. / Received: 13 December 2019; Accepted: 16 December 2019; Published: 31 December 2019