

Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 3. С. 126-136.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2022. Vol. 105, no 3. P. 126-136.

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Научная статья
УДК 636.5:577.17:591.11
doi:10.33284/2658-3135-105-3-126

Влияние железосодержащих комплексов, подвергнутых ультразвуковому воздействию, на продуктивность и биохимические показатели сыворотки крови цыплят-бройлеров

Наталья Викторовна Гарипова¹, Виталий Александрович Рязанов², Марина Яковлевна Курилкина³
^{1,2,3}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской Академии наук, Оренбург, Россия
¹profnat27@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8142-4953>
²vita7456@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0903-9561>
³K_marina4@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0253-7867>

Аннотация. Использование новых технологий в питании птицы, в том числе микро- и ультрадисперсных частиц микроэлементов представляет перспективный путь развития отрасли животноводства. Целью исследования стало изучение влияния опытных комплексов отрубей с добавлением железа на показатели живой массы и параметры крови цыплят-бройлеров. В ходе наших исследований было показано положительное влияние опытных комплексов органической формы железа и его микрочастиц на прирост живой массы и показатели печёночного метаболизма. Переваримость «*in vitro*» сухого вещества при введении органического железа составила $84,62 \pm 0,37$ %. Ультразвуковое воздействие на продукт с микрочастицами Fe выразилось в увеличении переваримости на 6,3 %, по сравнению с контролем. Статистически достоверным было различие между активностью АсАТ в группах. Так, активность уменьшилась на 24,4 %, 13,9 % и 15,9 % в группах I, II и III соответственно по сравнению с контролем. На 21 сутки опыта показатели динамики прироста были наибольшие в контрольной группе (на 6,68 %, 17,61 % и 14,7 % выше, чем в группах I, II и III соответственно). На 28 сутки эксперимента показатели динамики прироста живой массы цыплят-бройлеров имели противоположную тенденцию по сравнению с 21 днем. Прирост живой массы в контроле в данный период был на 34,72 %, 10,2 % и 15,4 % ниже, чем в группах I, II и III соответственно. Результаты исследования могут быть положены в основу инновационных решений для использования в практике сельского хозяйства.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, микрочастицы железа, пшеничные отруби, ультразвук, живая масса, кровь, биохимический анализ

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2021-2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005).

Для цитирования: Гарипова Н.В., Рязанов В.А., Курилкина М.Я. Влияние железосодержащих комплексов, подвергнутых ультразвуковому воздействию, на продуктивность и биохимические показатели сыворотки крови цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 3. С. 126-136. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-126>

PHYSIOLOGY OF ANIMALS

Original article

Influence of iron-containing complexes subjected to ultrasonic impact on the productivity and biochemical parameters of blood serum of broiler chickens

Natalia V Garipova¹, Vitaly A Ryazanov², Marina Ya Kurilkina³
^{1,2,3}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
¹profnat27@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8142-4953>
²vita7456@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0903-9561>
³K_marina4@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0253-7867>

Abstract. The use of new technologies in poultry nutrition, including micro- and ultrafine particles of trace elements, is a promising way to develop the livestock industry. The aim of the study was to study the effect of experimental bran complexes with the addition of iron on the live weight and blood

parameters of broiler chickens. In the course of our research, the positive effect of experimental complexes of the organic form of iron and its microparticles on the increase in live weight and liver metabolism indicators was shown. The «*in vitro*» digestibility of dry matter with the introduction of organic iron was $84.62 \pm 0.37\%$. Ultrasonic exposure to the product with Fe microparticles resulted in an increase in digestibility by 6.3%, compared with the control. The difference between AsAT activity in groups was statistically significant. Thus, activity decreased by 24.4%, 13.9% and 15.9% in groups I, II and III, respectively, compared with the control. On the 21st day of the experiment, the indicators of growth dynamics were the highest in the control group (6.68%, 17.61% and 14.7% higher than in groups I, II and III, respectively). On the 28th day of the experiment, the indicators of the dynamics of the live weight gain of broiler chickens had the opposite trend, compared with 21 days. The increase in live weight in the control during this period was 34.72%, 10.2% and 15.4% lower than in groups I, II and III, respectively). The results of the study can be used as the basis for innovative solutions for use in agricultural practice.

Keywords: broiler chickens, feeding, iron microparticles, wheat bran, ultrasound, live weight, blood, biochemical analysis

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2021-2023 FSBRI FRC BST RAS (No. 0761-2019-0005).

For citation: Garipova NV, Ryazanov VA, Kurilkina MYa. Influence of iron-containing complexes subjected to ultrasonic impact on the productivity and biochemical parameters of blood serum of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):126-136. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-126>

Введение.

Сегодня, в условиях экономических санкций и политики импортозамещения крайне актуальным является вопрос обеспечения продовольственной безопасности страны. В этой связи присутствие на рынке высококачественного белка, например, мяса птицы, является одним из оптимальных решений данной задачи (Фисинин В.И., 2018 а). Для интенсификации производства, повышения выхода живой массы и увеличения объёмов продукции, необходимо разрабатывать инновационные прикладные решения (Фисинин В.И. и др., 2018б; Abd El-Ghany WA et al., 2021). Например, традиционно применяемые источники химических элементов в кормлении сельскохозяйственной птицы способствуют загрязнению окружающей среды вместе с отходами производства, могут иметь высокую токсичность и низкую усвояемость (Nabi F et al., 2020). Перспективным является применение органических форм микроэлементов (Vieira R et al., 2020) и их микро- и ультрадисперсных форм (Miroshnikov SA et al., 2015). Среди микроэлементов большую роль в нормальном функционировании организма птицы играет железо (Fe), необходимое для протекания многих ферментативных и биохимических реакций, регулировании роста и дифференцировки клеток (Fisinin VI et al., 2018в).

Кроме того, актуальным вопросом при выращивании птицы является экологизация производства, что может быть достигнуто путём использования отходов пищевых производств, например, отрубей (Алимкулов Ж.С. и др., 2020). Одним из способов, не требующих больших финансовых и материальных ресурсов, является ультразвуковая обработка отходов, что увеличивает доступность нутриентов для птицы, одновременно повышая вкусовые качества корма (Битюкова А.В. и др., 2019).

Цель исследования.

Изучение влияния опытных комплексов отрубей, подвергнутых ультразвуковому воздействию, с добавлением различных источников железа на показатели живой массы и параметры крови цыплят-бройлеров.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса «Арбор Айкрес».

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08 1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use

of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества используемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследования проводились в виварии ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФНЦ БСТ РАН). Методом пар-аналогов было отобрано 120 суточных цыплят-бройлеров и сформированы четыре группы (n=30) – контрольная и три опытных. Условия содержания цыплят опытных и контрольной групп были идентичными и соответствовали зоотехническим нормам. Доступ к воде и корму – свободный. Цыплята контрольной группы на протяжении всего эксперимента получали основной рацион (ОР), остальной птице в период с 14-дневного возраста по 42 сутки в рацион дополнительно вводили опытные кормосмеси. 10 % основного рациона заменяли опытными кормосмесями, подвергнутыми ультразвуковому воздействию, по следующей схеме – пшеничные отруби 10 % основного рациона заменяли опытными кормосмесями, подвергнутыми ультразвуковому воздействию (смесь пшеничных отрубей 99,9 % и микрочастиц железа 0,007 %). Пшеничные отруби в рационе I опытной группы (ОК1) заменяли на кормосмесь, где Fe было представлено фумаратом железа ($\text{FeC}_4\text{H}_2\text{O}_4$) 7 мг/кг корма, II опытной (ОК2) – кормосмесь, где Fe было представлено микрочастицами 7 мг/кг корма, III опытной (ОК3) – обработанной кормосмесью без включения железа, контрольная группа получала основной рацион (ОР) (табл. 1).

Таблица 1. Схема эксперимента
Table 1. Scheme of the experiment

Группа / Group	Основной рацион / Basic diet	Форма железа / The shape of iron	УЗО / UST
	Учётный период (14-42 сут. возраст) / Accounting period (14-42 day age)		
I опытная / I experimental	ОР / BD	Фумарат ($\text{FeC}_4\text{H}_2\text{O}_4$) 7 мг/кг / Fumarate ($\text{FeC}_4\text{H}_2\text{O}_4$) 7 mg/kg	+
II опытная / II experimental		Микрочастицы 7 мг/кг / Microparticles 7 mg/kg	+
III опытная / III experimental		-	+
Контрольная / Control		-	-

Продолжительность эксперимента – 42 суток: подготовительный период – 7 суток и учётный – 35. В ходе балансовых физиологических опытов устанавливали переваримость питательных компонентов рациона по методикам ВНИТИП (Фисинин В.И. и др., 2009). Исходя из результатов ежесуточного учёта массы помёта, производили расчёт потери веществ с установлением усвоенного количества корма.

Кормление цыплят-бройлеров в ходе исследований производилось полнорационными комбикормами, разработанными на основе рекомендаций ВНИТИП (табл. 2).

Таблица 2. Состав и питательность ростового комбикорма контрольной группы, г/кг
Table 2. Composition and nutritional value of the growth feed of the control group, g/kg

Показатель / Index	Масса вещества / Weight
Состав комбикорма: / The composition of the feed:	
пшеница полновесная / full weight wheat	182
ячмень нешелушенный / unshelled barley	50
жмых подсолнечный 35 % / sunflower cake 35%	180
шрот соевый 40 % / soybean meal 40%	75
рыбная мука 58 % / fishmeal 58%	45
масло растительное/ vegetable oil	45
кукуруза / corn	400
отруби пшеничные/ wheat bran	10
известняк / limestone	10
соль / salt	3

В процессе исследования проводился ежесуточный учёт потребления птицей корма по каждой группе. Динамика живой массы птицы в течение учётного периода изучалась путём ежесуточного индивидуального взвешивания цыплят. В исследованиях были использованы: пшеничные отруби, приобретённые на ЗАО «Хлебопродукт-2» города Оренбурга, с содержанием сырой клетчатки 8-10 %, сырого протеина – 13-15 %, с размером частиц до 1 см. Микрочастицы Fe приобретены у ЗАО НПП «Высокодисперсные металлические порошки» (г. Екатеринбург), размер частиц – 12,550,0 мкм, частота – 99,95 %.

Для проведения ультразвуковой обработки (УЗО) готовили смесь отрубей и Fe в соотношении: отруби пшеничные 100 г (влажность – 32 %) и Fe 7 мг/кг, что определяется результатами предварительного эксперимента. Упакованные образцы при влажности смеси 32 % закрепляли в ультразвуковой установке и подвергали воздействию ультразвука, время экспозиции – 120 с.

Переваримость сухого вещества определяли методом «*in vitro*» при помощи «искусственного рубца KPL 01» по методике В.В. Попова, Е.Т. Рыбиной в модификации Г.И. Левахина, А.Г. Мещерякова.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены в ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>. Исследования сыворотки крови проведены на автоматическом анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием наборов ДиаВетТест (Россия). Переваримость сухого вещества определяли. Для проведения ультразвуковой обработки использовали ультразвуковую установку УЗУ 0,25 (УППО «Ульяновское приборостроительное производственное объединение», Россия) с рабочей частотой 18 кГц и выходной мощностью 0,25 кВт. «Искусственный рубец» KPL 01 (Россия); термостат электрический суховоздушный ТС-1/80 СПУ (ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия), весы лабораторные электронные ВМ 153 (ООО «ОКБ Веста», РФ).

Статистическая обработка. Основные данные были подвергнуты статистической обработке с использованием пакет программ «Statistica 10.0» («StatSoft Inc.», США). Полученные в ходе эксперимента цифровые данные обработаны методом вариационной статистики. Статистическую достоверность различий сравниваемых показателей оценивали по t-критерию Стьюдента. Различия между полученными результатами считаются достоверными при 5 %-ном уровне значимости ($P \leq 0,05$).

Результаты исследования.

Оценка переваримости корма «*in vitro*» (табл. 3) выявила значимые различия с контрольной группой при введении в рацион органической формы железа. Переваримость «*in vitro*» сухого вещества в данном случае составила $84,62 \pm 0,37$ %. Ультразвуковое воздействие на продукт с микрочастицами Fe оказало выраженное воздействие на переваримость «*in vitro*», что выразилось в увеличении переваримости на 6,3 % по сравнению с контролем.

Таблица 3. Ростовый рацион, переваримость *in vitro*

Table 3. Grower diet, *in vitro* digestibility

Группа / Group	Переваримость сухого вещества, %/ <i>Digestibility of dry matter, %</i>
I	$84,82 \pm 0,37^*$
II	$84,41 \pm 0,22^*$
III	$82,25 \pm 0,53$
Контроль / Control	$79,40 \pm 1,04$

Примечание: * – $P \leq 0,05$

Note: * – $P \leq 0.05$

При изучении динамики роста подопытных цыплят-бройлеров не было обнаружено значимых статистических различий с показателями живой массы цыплят-бройлеров контрольной группы, которая на 28 сутки эксперимента составила $1562,75 \pm 41,5$ г (рис. 1).

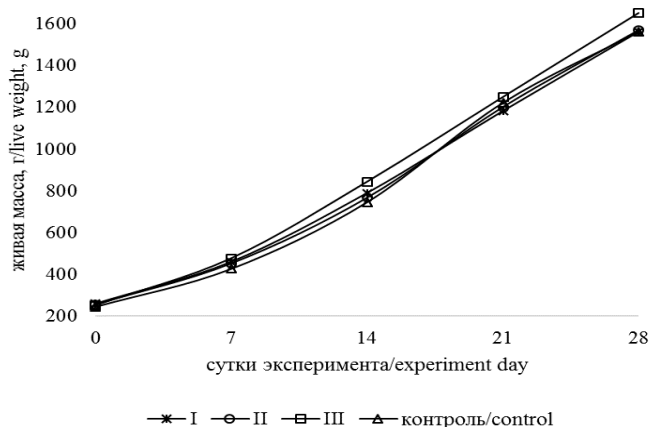


Рис. 1 – Динамика роста подопытных цыплят-бройлеров
Figure 1 – Growth dynamics of experimental broiler chickens

Однако при анализе данных по динамике прироста цыплят-бройлеров при включении опытных комплексов Fe совместно с отрубями было показано, что существуют различия, наиболее выраженные на 21 и 28 день эксперимента (рис. 2).

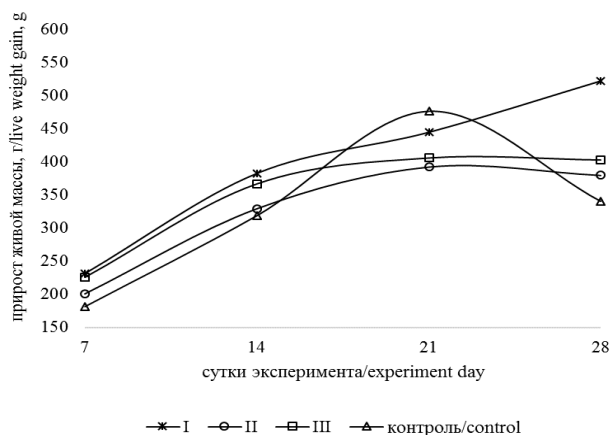


Рис. 2 – Динамика прироста живой массы подопытных цыплят-бройлеров
Figure 2 – Dynamics of live weight gain of experimental broiler chickens

Так, на 21 сутки опыта, показатели динамики прироста были наибольшие в контрольной группе (на 6,68 %, 17,61 % и 14,7 % выше, чем в группах I, II и III, соответственно).

На 28 сутки эксперимента показатели динамики прироста живой массы цыплят-бройлеров имели противоположную тенденцию, по сравнению с 21 днём. Прирост живой массы в контроле в данный период был на 34,72 %, 10,2 % и 15,4 % ниже, чем в группах I, II и III соответственно. Таким образом, внесение железа в виде органического фумарата в составе комплекса с отрубями

наиболее эффективно способствовало увеличению показателей прироста живой массы в конце эксперимента.

Нами было показано, что для увеличения показателей динамики роста птицы при внесении опытных комплексов был характерен период пролонгации и накопления эффекта, появившийся в период через 28 суток с начала эксперимента.

Далее в ходе эксперимента было проведено биохимическое исследование сыворотки крови птиц (табл. 3).

Таблица 3. Биохимические показатели сыворотки крови подопытных цыплят бройлеров в возрасте 42 сут

Table 3. Biochemical parameters of blood serum of experimental broiler chickens aged 42 days

Показатели / Indicators	I	II	III	Контроль/ Control
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	29,0 ± 2,08	36,0 ± 5,13	30 ± 1,75	31,0 ± 0,58
Холестерин, ммоль/л/Cholesterol, mmol/l	4,3 ± 0,23	3,8 ± 0,24	3,7 ± 0,34	3,9 ± 0,47
Билирубин, мкмоль/л/Bilirubin, μmol/l	2,4 ± 0,45	2,1 ± 0,80	2,1 ± 0,29	2,9 ± 0,31
АлАТ, ммоль/л / AlAT, mmol/l	13,0 ± 1,53	13,3 ± 1,33	13,4 ± 1,26	13,3 ± 1,33
АсАТ, ммоль/л/ AsAT, mmol/l	190,1 ± 2,19*	217,0 ± 7,57*	212,1 ± 11,87*	252,3 ± 20,85
Мочевина, ммоль/л/ Urea, mmol/l	1,7 ± 0,02	2,1 ± 0,44	1,6 ± 0,08	1,7 ± 0,20
Креатинин, ммоль/л / Creatinine, mmol/l	39,0 ± 4,00	39,0 ± 4,00	36,4 ± 2,23	31,7 ± 7,67
Глюкоза, ммоль/л/Glucose, mmol/l	13,7 ± 0,35	10,5 ± 1,56	12,4 ± 0,31	13,1 ± 0,44
Железо, мкмоль/л/ Fe, μmol/l	15,8 ± 3,04	16,2 ± 1,46	15,1 ± 0,97	15,0 ± 0,31

Примечание: * – P ≤ 0,05

Note: * – P ≤ 0.05

По полученным данным, статистически достоверным было различие между активностью АсАТ в группах. Так, активность уменьшилась на 24,4 %, 13,9 % и 15,9 % в группах I, II и III, соответственно по сравнению с контролем.

Согласно имеющимся результатам, содержание общего белка, холестерина, билирубина, АлАТ, мочевины, креатинина, глюкозы и железа не обнаруживали значимых различий по сравнению с контрольными значениями. В нашем эксперименте не отмечалось повышение данных показателей, которые бы могли свидетельствовать о токсическом влиянии опытных комплексов на показатели печеночного метаболизма.

В целом, при анализе биохимических показателей крови подопытных цыплят-бройлеров можно говорить об их стабильности по сравнению с контрольными значениями, что косвенно может говорить об оптимально подобранном рационе.

Таким образом, в ходе наших исследований было показано положительное влияние опытных комплексов органической формы железа и его микрочастиц на прирост живой массы и показатели печеночного метаболизма.

Обсуждение полученных результатов.

Сегодня в научной литературе можно встретить достаточное количество работ, посвящённых включению новых источников химических элементов в рацион сельскохозяйственной птицы. Среди них – ультрадисперсные и микрочастицы микроэлементов, и их органические аналоги, среди которых селен, хром, железо и др. Преимущество данных форм перед традиционными минеральными аналогами состоит в их повышенной усвояемости и меньшей токсичности. А уменьшение размера частиц способствует интенсификации процессов обмена в организме цыплят-бройлеров. Известно, что внутримышечное введение ультрадисперсных частиц, их агломератов и микрочастиц положительно влияло на прирост живой массы, при этом введение частиц большего

диаметра имело пролонгированный эффект. Наибольшее содержание белка в тушке цыплят отмечалось при введении УДЧ железа, в то время как микрочастицы и агломераты способствовали меньшему содержанию протеина в организме птицы (Сизова Е.А. и Яушева Е.В., 2019).

Применение ультразвука для опытного комплекса в нашем случае увеличивало переваримость сухого вещества. Это согласуется с результатами ранее проведённых нами исследований, где рост переваримости питательных веществ корма происходит не только за счёт физических преобразований в результате действия ультразвука, но и за счёт биологического действия самих микрочастиц Fe, которые вероятно активно включаются в энтеральный обмен (Мирошников С.А. и др., 2018). Это также основано на увеличении биодоступности питательных веществ из отрубей при разрушении клеточных стенок растительных веществ, повышении вкусовых качеств корма. Ранее в наших исследованиях было показано, что применение ультразвукового воздействия на отрубной комплекс и микрочастиц железа положительно влияет на выход живой массы птиц и её качественные показатели. Это связано с тем, что подготовка опытного комплекса при помощи ультразвука способствует выходу питательных веществ при разрушении клеточной стенки, а полисахариды расщепляются до моносахаров. Ультразвук как способ обработки кормовых добавок является одним из наиболее перспективных методов увеличения качества кормов и, как следствие, повышения живой массы сельскохозяйственных животных (Ширнина Н.М. и др. 2019). Ранее проведённое изучение влияния ультразвуковой обработки на кормовые ингредиенты свидетельствует о перспективности применения данного способа подготовки кормов к скармливанию, в том числе и при добавлении различных нутриентов и химических элементов. Так, при анализе результатов, полученных в ходе оценки биологической доступности микроэлементов Fe для организма птицы, было установлено, что дополнительное воздействие ультразвука на опытные комплексы даёт достоверное увеличение биодоступности железа из микрочастиц на 5,8-7,0 % (Гарипова Н.В., и др., 2013).

Обратим внимание, что возможность использования высоко диспергированных добавок и органических форм химических элементов изучается довольно широко. Микрочастицы являются перспективными для использования у живых организмов, так как они имеют меньшее негативное действие, чем частицы нанодиапазона. Органические формы железа же зарекомендовали себя как вещества, которые биологически доступны для всасывания в организме в большей степени, чем минеральные аналоги, за счёт чего их можно использовать в меньшем количестве (Сизова Е.А. и др., 2018).

Сегодня активно развиваются исследования, направленные на использование более мелких частиц, чем микрочастицы металлов – это ультрадисперсные (УДЧ) или наночастицы. Однако УДЧ по сравнению с микрочастицами металлов обладают возможностью диссоциировать ионы в окружающую среду. Это может приводить к проявлениям окислительного стресса, избыточной абсорбции элемента. Микрочастицы же не имеют таких механизмов воздействия на организм. В более ранних исследованиях было отмечено, что кормление подопытной птицы микрочастицами железа показало благоприятный эффект на химический состав тела бройлеров, в результате чего уменьшилось содержание жира в теле цыплят.

Биохимический анализ крови позволяет качественно изучить работу внутренних органов (печень, почки, поджелудочная железа, желчный пузырь и др.) и получить информацию о метаболизме (обмен липидов, белков, углеводов), выяснить потребность в микроэлементах (Черкасова В.В. и Зеленский К.С., 2009). Так, было установлено, что обработка кормовых ингредиентов с добавленными микрочастицами железа при скармливании цыплятам-бройлерам позволяет увеличить содержание железа и глюкозы в организме птицы (Гарипова Н.В. и Курилкина М.Я., 2015). Ферментативная активность АсАТ и АлАТ отражает состояние печени, которая участвует в расщеплении и переваривании ингредиентов корма (Курдеко А.П. и Сандул П.А., 2010). Сравнивая показатели трёх опытных групп в нашем эксперименте, самая высокая активность ферментов АсАт наблюдалась у цыплят в контрольной группе. Такое состояние свидетельствует о нарушении проницаемости клеточных мембран гепатоцитов, которое вызвано свободнорадикальными реакциями в результате скармливания высококонцентратного корма (Курдеко А.П. и Сандул П.А., 2010). В нашем

эксперименте было показано, что скормливание различных источников железа в комплексе с отрубями, подвергнутыми УЗ-воздействию, не оказывает отрицательного влияния на показатели ферментов печени, т. е. являются безопасными добавками. Соответственно, можно утверждать, что УЗ-воздействие на отрубной комплекс с различными источниками железа в биотических дозах, позволяет улучшить метаболизм в печени цыплят-бройлеров кросса «Арбор-Айкрес», являясь безопасными добавками.

Таким образом, использование микрочастиц железа в биотических дозах в комплексе с отрубями, подвергнутыми УЗ-воздействию, обеспечивает повышение интенсивности роста и оказывает влияние на интерьер цыплят-бройлеров

Заключение.

В ходе наших исследований было показано выраженное положительное влияние опытных комплексов с УЗ-воздействием органической формы железа и его микрочастиц на прирост живой массы и показатели печёночного метаболизма. Внесение опытных комплексов не изменяло показателей биохимического анализа крови. Активность ферментов АсАт снижалась в опытных группах, по сравнению с контролем, что свидетельствует об отсутствии негативного влияния на печёночный метаболизм. Таким образом, введение в рацион цыплят-бройлеров опытных комплексов с микрочастицами железа выразилось в увеличении переваримости «*in vitro*» в сравнении с контролем, отмечено также увеличение показателей динамики роста птицы при внесении опытных комплексов как с органическим железом, так и с микрочастицами, где был характерен период пролонгации и накопления эффекта, появившийся в период через 28 суток с начала эксперимента. Результаты исследования могут быть положены в основу инновационных решений для использования в практике сельского хозяйства.

Список источников

1. Влияние препаратов микрочастиц железа на интерьер и продуктивность цыплят-бройлеров / Н.В. Гарипова, А.Х. Заверюха, А.Г. Зелепухин, Т.Н. Холодилина, Ф.Х. Сиразетдинов, В.А. Раменский // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. № 10(159). С. 56-60. [Garipova NV, Zaverjukha AX, Zelepuchin AG, Xolodilina TN, Sirazetdinov FX, Ramensky VA. Effect of drugs microparticles of iron on the interior and productivity of broiler chicken. Vestnik Orenburg State University. 2013;10(159):56-60. (In Russ.)].
2. Гарипова Н.В., Курилкина М.Я. Влияние способов обработки отрубного продукта на химический состав веществ в теле цыплят-бройлеров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 1(51). С. 168-171. [Garipova NV, Kurilkina MYa. Influence of methods of bran products processing on the chemical composition of broiler chickens' organism. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2015;1(51):168-171. (In Russ.)].
3. Курдеко А.П., Сандул П.А. Влияние концентрата витаминов Е и F из рапсового масла на функциональное состояние печени цыплят-бройлеров // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2010. № 13(2). С. 401-408. [Kurdeko AP, Sandul PA. Vlijanie koncentrata vitaminov E i F iz rapsovogo masla na funkcional'noe sostojanie pecheni cypljat-brojlerov. Aktual'nye problemy intensivnogo razvitija zhivotnovodstva. 2010;13(2):401-408. (In Russ.)].
4. Мясное птицеводство в регионах России: современное состояние и перспективы инновационного развития / Фисинин В.И. и др. // Аграрная наука. 2018б. №. 2. С. 30-38. [Fisinin VI, et al. Poultry meat production in the regions of the Russian Federatiuon: current state and prospects of its innovative development. Agrarian Science. 2018b;2:30-38. (In Russ.)].
5. Получение ксилоолигосахаридов из вторичных продуктов переработки зерна с использованием ультразвуковой обработки / А.В. Битюкова, А.А. Амелькина, А.В. Евтеев, А.В. Банникова // Актуальные вопросы в науке и практике: сб. ст. по материалам XV междунар. науч.-практ. конф., (г. Самара, 01 марта 2019 г.) Уфа: ООО Дендра, 2019. С. 23-26. [Bityukova AV,

Amelkina AA, Evteev AV, Bannikova AV. Poluchenie ksilooligosaharidov iz vtorichnyh produktov pererabotki. zerna s ispol'zovaniem ultrazvukovoj obrabotki. (Conference proceedings) Aktual'nye voprosy v nauke i praktike: sb. st. po materialam XV mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (g. Samara, 01 marta 2019 g.). Ufa: OOO Dendra; 2019:23-26. (*In Russ.*).

6. Продуктивное действие и переваримость кормов при использовании в кормлении птицы микрочастиц железа / С.А. Мирошников, Н.В. Гарипова, Т.Н. Холодилина, М.Я. Курилкина, Г.К. Дускаев // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. №. 2. С. 7-16. [Miroshnikov SA, Garipova NV, Kholodilina TN, Kurilkina MYa, Duskaev GK. Productive action and digestibility of feeds after using iron microparticles for feeding of poultry. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(2):7-16. (*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. Т. 53. №. 2. С. 393-403. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.393rus [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. Фисинин В.И. Мировые и российские тренды развития птицеводства // Животноводство России. 2018а. №. 4. С. 2-4. [Fisinin VI. Global and russian trends in development of poultry production. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2018a;4:2-4. (*In Russ.*)].

10. Черкасова В.В., Зеленский К.С. Гематологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров в онтогенезе // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2009. № 4(24). С. 60-63. [Cherkasova VV, Zelensky KS. Hematological and biochemical blood parameters of broiler chicken in ontogenesis. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2009;4(24):60-63. (*In Russ.*)].

11. Энергетический обмен в организме быков, получающих в рационе кавитированные концентрированные корма / Н.М. Ширнина, Б.Х. Галиев, И.С. Мирошников, И.А. Рахимжанова, А.С. Байков, Х.Б. Дусаева, В.И. Корнейченко, А.А. Мелех // Животноводство и кормопроизводство. 2019;102(4):218-226. [Shirnina NM, Galiev BKh, Miroshnikov IS, Rakhimzhanova IA, Baykov AS, Dusaeva KhB, Korneychenko VI, Melekh AA. Energy metabolism in the body of bulls receiving cavitated concentrated feed in the diet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(4):218-226. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-102-4-218.

12. Эффективность использования комбикормов, содержащих кормовой обогатительный концентрат пробиотического действия / Ж.С. Алимкулов, М.Т. Велямов, Т.М. Сарманкулов, К.Т. Шаулиева, М.Ж. Бектурсунова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8. №. 3. С. 83-89. [Alimkulov ZhS, Veliamov MT, Sarmankulov TM, Shauliyeva KT, Bektursunova MJ. Efficiency of use of compound feeds containing feed concentrate of probiotic action. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2020;8(3):83-89. (*In Russ.*)]. doi:10.14529/food200310

13. Abd El-Ghany WA, Shaalan M, Salem HM. Nanoparticles applications in poultry production: an updated review. *World's Poultry Science Journal*. 2021;77(4):1001-1025. doi: 10.1080/00439339.2021.1960235

14. 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*. 2018b;74(3):523-540. doi: 10.1017/S0043933918000491

15. Miroshnikov SA, Yausheva EV, Sizova EA, Miroshnikova EP. Comparative assessment of effect of copper nano- and microparticles in chicken. *Oriental Journal of Chemistry*. 2015;31(4):2327-2336. doi: 10.13005/ojc/310461
16. Nabi F, Arain MA, Hassan F, Umar M, Rajput N, Alagawany M, Syed SF, Soomro J, Somroo F, Liu J. Nutraceutical role of selenium nanoparticles in poultry nutrition: a review. *World's Poultry Science Journal*. 2020;76(3):459-471. doi: 10.1080/00439339.2020.1789535
17. Vieira R, Ferket P, Malheiros R, Hannas M, Crivellari R, Moraes V, Elliott S. Feeding low dietary levels of organic trace minerals improves broiler performance and reduces excretion of minerals in litter. *British Poultry Science*. 2020;61(5): 574-582. doi: 10.1080/00071668.2020.1764908

References

1. Garipova NV, Zaverjukha AX, Zelepuchin AG, Xolodilina TN, Sirazetdinov FX, Ramensky VA. Effect of drugs microparticles of iron on the interior and productivity of broiler chicken. *Vestnik Orenburg State University*. 2013;10(159):56-60.
2. Garipova NV, Kurilkina MYa. Influence of methods of bran products processing on the chemical composition of broiler chickens' organism. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2015;1(51):168-171.
3. Kurdeko AP, Sandul PA. Influence of the concentrate of vitamins E and F from rapeseed oil on the functional state of the liver of broiler chickens. *Actual Problems of Intensive Development of Animal Husbandry*. 2010;13(2):401-408.
4. Fisinin VI, et al. Poultry meat production in the regions of the Russian Federation: current state and prospects of its innovative development. *Agrarian Science*. 2018b;2:30-38.
5. Bityukova AV, Amelkina AA, Evteev AV, Bannikova AV. Obtaining xylooligosaccharides from secondary products of grain processing using ultrasonic treatment. (Conference proceedings) *Topical issues in science and practice: Sat. Art. based on materials of the XV int. scientific-practical. conf., (Samara, March 01, 2019)*. Ufa: OOO Dendra; 2019:23-26.
6. Miroshnikov SA, Garipova NV, Kholodilina TN, Kurilkina MYa, Duskaev GK. Productive action and digestibility of feeds after using iron microparticles for feeding of poultry. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(2):7-16.
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. doi: 10.15389/agrobology.2018.2.393eng
9. Fisinin VI. Global and russian trends in development of poultry production. *Animal Husbandry of Russia*. 2018a;4:2-4.
10. Cherkasova VV, Zelensky KS. Hematological and biochemical blood parameters of broiler chicken in ontogenesis. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2009;4(24):60-63.
11. Shirnina NM, Galiev BKh, Miroshnikov IS, Rakhimzhanova IA, Baykov AS, Dusaeva KhB, Korneychenko VI, Melekh AA. Energy metabolism in the body of bulls receiving cavitated concentrated feed in the diet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(4):218-226. doi: 10.33284/2658-3135-102-4-218.
12. Alimkulov ZhS, Veliamov MT, Sarmankulov TM, Shauliyeva KT, Bektursunova MJ. Efficiency of use of compound feeds containing feed concentrate of probiotic action. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2020;8(3):83-89. doi: 10.14529/food200310
13. Abd El-Ghany WA, Shaalan M, Salem HM. Nanoparticles applications in poultry production: an updated review. *World's Poultry Science Journal*. 2021;77(4):1001-1025. doi: 10.1080/00439339.2021.1960235

14. 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*. 2018в;74(3):523-540. doi: 10.1017/S0043933918000491

15. Miroshnikov SA, Yausheva EV, Sizova EA, Miroshnikova EP. Comparative assessment of effect of copper nano-and microparticles in chicken. *Oriental Journal of Chemistry*. 2015;31(4):2327-2336. doi: 10.13005/ojc/310461

16. Nabi F, Arain MA, Hassan F, Umar M, Rajput N, Alagawany M, Syed SF, Soomro J, Somroo F, Liu J. Nutraceutical role of selenium nanoparticles in poultry nutrition: a review. *World's Poultry Science Journal*. 2020;76(3):459-471. doi: 10.1080/00439339.2020.1789535

17. Vieira R, Ferket P, Malheiros R, Hannas M, Crivellari R, Moraes V, Elliott S. Feeding low dietary levels of organic trace minerals improves broiler performance and reduces excretion of minerals in litter. *British Poultry Science*. 2020;61(5): 574-582. doi: 10.1080/00071668.2020.1764908

Информация об авторах:

Наталья Викторовна Гарипова, магистрант 2 года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 89225550470.

Виталий Александрович Рязанов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 89228077100.

Марина Яковлевна Курилкина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Испытательного центра, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)77-39-97.

Information about authors:

Natalia V Garipova, 2-year Master's student, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, 29 9 Yanvarya St., 460000, tel.: 89225550470.

Vitaly A Ryazanov, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher of Farm Animal Feeding and Feed Technology Department named after Leushin SG, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, 29 9 Yanvarya St., 460000, tel.: 89228077100.

Marina Ya Kurilkina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Testing Centre of the Common Use Centre, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, 29 9 Yanvarya St., 460000, tel.: 8(3532)77-39-97.

Статья поступила в редакцию 22.08.2022; одобрена после рецензирования 09.09.2022; принята к публикации 12.09.2022.

The article was submitted 22.08.2022; approved after reviewing 09.09.2022; accepted for publication 12.09.2022.