

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 636.5:577.17

doi:10.33284/2658-3135-105-4-8

Оценка влияния ультрадисперсных частиц меди и комплексной ферментной добавки на продуктивные показатели цыплят-бройлеров

Ксения Сергеевна Нечитайло¹, Елена Анатольевна Сизова^{2,3}

^{1,2}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

³Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹k.nechit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8755-414X>

^{2,3}sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

Аннотация. Специалисты, учитывая непрекращающийся рост затрат на кормовые ингредиенты, а также высокую волатильность цен на птицепродукты, вынуждены применять альтернативные стратегии повышения эффективности кормления без потери качества. С этой целью нами было проведено исследование влияния комплексной ферментной добавки (I опытная группа) и ультрадисперсных частиц меди (II опытная группа) на продуктивные показатели цыплят-бройлеров. В ходе исследования установлено, что за весь период выращивания бройлеры I опытной группы потребили корма на 6,7 % больше, II опытной – на 1,8 % в сравнении с показателями контрольной группы. Разница по живой массе цыплят-бройлеров контрольной и II опытной групп составила 11,1 % ($P \leq 0,05$). Относительная скорость роста превышала в I опытной группе на 17,5 % ($P \leq 0,05$), во II опытной – на 21,8 % ($P \leq 0,05$) в сравнении с контрольной группой на вторую неделю эксперимента. Расчёт среднесуточных приростов подтвердил, что на протяжении всего эксперимента с 7 по 42 сутки данный показатель в I и II опытных группах был выше на 15 % ($P \leq 0,05$) и 15,2 % ($P \leq 0,05$) соответственно относительно контроля. Анализ химического состава мышечной ткани цыплят-бройлеров позволил заключить, что в I опытной группе концентрация сухого вещества была выше на 1,8 % ($P \leq 0,05$), протеина – на 1,1 % ($P \leq 0,05$), жира – на 0,7 % ($P \leq 0,05$) в сравнении с контролем. Во II опытной группе концентрация протеина превышала контрольные значения на 1,6 % ($P \leq 0,05$). Таким образом, в ходе исследования выявлено, что комплекс ферментной добавки как отдельно, так и в совокупности с медью в ультрадисперсной форме оказывают положительное влияние на продуктивные показатели цыплят-бройлеров. Но при расчёте показателя индекса продуктивности установлено, что экономически выгодной стратегией является введение в рацион бройлеров комплексной ферментной добавки с ультрадисперсными частицами меди.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, продуктивность, ультрадисперсные частицы, медь, ферменты, амилаза, ксиланаза, протеаза, некрахмальные полисахариды

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-26-00253.

Для цитирования: Нечитайло К.С., Сизова Е.А. Оценка влияния ультрадисперсных частиц меди и комплексной ферментной добавки на продуктивные показатели цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 4. С. 8-20. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-8>

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ

Original article

Evaluation of influence of ultrafine particles of copper and a complex enzymatic additive on productive performance of broiler chickens

Ksenia S Nechitailo¹, Elena A Sizova^{2,3}

^{1,2}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

³Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹k.nechit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8755-414X>

^{2,3}sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

Abstract. Experts, given the continuing rise in the cost of feed ingredients and the high volatility of prices for poultry products, are forced to use alternative strategies to increase feed efficiency without

sacrificing quality. To this end, we conducted a study of the effect of ultrafine copper particles and a complex enzyme additive on the productive performance of broiler chickens. During the study, it was found that for the entire growing period, broilers of the I experimental group consumed 6.7% more, the II experimental group - by 1.8% in comparison with the indicators of the control group. The difference in live weight of broiler chickens in the control and II experimental groups was 11.1% ($P \leq 0.05$). The relative growth rate in the I experimental group advanced over the control by 17.5% ($P \leq 0.05$), and the II experimental group by 21.8% ($P \leq 0.05$) in comparison with on the second week of the experiment. The calculation of average daily gains confirmed that throughout the experiment from 7 to 42 days, this indicator in experimental groups I and II was higher by 15% ($P \leq 0.05$) and 15.2% ($P \leq 0.05$), respectively, relative to the control. Analysis of the chemical composition of the muscle tissue of broiler chickens allowed us to conclude that in the first experimental group, the dry matter concentration was higher by 1.8% ($P \leq 0.05$), protein by 1.1% ($P \leq 0.05$), fat by 0.7% ($P \leq 0.05$) in comparison with the control. In the second experimental group, the protein concentration exceeded the control values by 1.6% ($P \leq 0.05$). Thus, in the course of the study, it was revealed that the complex of the enzyme supplement, both separately and in combination with copper in ultrafine form, has a positive effect on the productive performance of broiler chickens. But when calculating the productivity index, it was found that the cost-effective strategy is to introduce a complex enzyme supplement with ultrafine copper particles into the diet of broilers.

Keywords: productivity, broiler chickens, ultrafine particles, copper, enzymes, amylase, xylanase, prosthesis, non-starch polysaccharides

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 22-26-00253.

For citation: Nechitailo KS, Sizova EA. Evaluation of influence of ultrafine particles of copper and a complex enzymatic additive on productive performance of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):8-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-8>

Введение.

Производительность в птицеводстве выросла с 9 до 132 млн тонн в год в период с 1961 по 2019 год (Food and agriculture organization of the united nations, 2020). Повышенный мировой спрос на мясо бройлеров демонстрирует экспоненциальный рост темпов выработки продуктов птицеводческой отрасли, что порождает соответствующую конкуренцию среди сельскохозяйственных производителей (Wang C et al., 2022).

Специалисты, учитывая непрекращающийся рост затрат на кормовые ингредиенты, а также высокую волатильность цен на птицепродукты, вынуждены применять альтернативные стратегии повышения эффективности кормления без потери качества (Ayalew H et al., 2022). При этом выбор стратегии варьируется в широком диапазоне: от применения привычных кормовых антибиотиков (Hamid H et al., 2019) до внедрения в рацион бройлеров инновационных добавок на основе фитогеников (Al-Mnaser A et al., 2022; Shehata AA et al., 2022), подкислителей (Sizmaz O et al., 2022), штаммов бактерий (Biswas A et al., 2022) и т. д. Основное действие стимуляторов роста заключается в прямой или косвенной модуляции пищеварительной системы цыплят-бройлеров, что в последующем отражается на продуктивности в целом (Salaheen S et al., 2017).

Доказано, что с целью максимизации конверсии корма целесообразно введение в рацион ферментсодержащих кормовых добавок (Wickramasuriya SS et al., 2022). Первоначально исследования проводились с использованием отдельных экзогенных ферментов (Arczewska-Wlosek A et al., 2019; Hu J et al., 2020; Zhou H et al., 2021), на современном этапе набирают актуальность научные разработки, посвящённые вопросу комплексного введения продуктов микробного происхождения в кормление сельскохозяйственной птицы (McCafferty KW et al., 2022; Wickramasuriya SS et al., 2022).

В целом эффективность процесса пищеварения и всасывания у птиц напрямую связана с пищевыми соединениями и микроорганизмами, находящимися в их пищеварительной системе (Salaheen S et al., 2017). Поэтому помимо введения ферментов в рацион рассмотрим ещё одну аль-

тернативу антибиотическому стимулятору роста – медь. Сообщается, что медь обладает антимикробными свойствами, что приводит к увеличению массы тела бройлеров (Sizova EA et al, 2020). Помимо антибактериального действия медь является важным кофактором ферментных систем, участвующих в окислительных и восстановительных процессах (цитохромоксидаза, лизилоксидаза, супероксиддисмутаза, церулоплазмин и металлотионеин) (Nguyen HTT et al., 2020).

Необходимо отметить, что совместное применение веществ разной природы может сопровождаться антагонистическими эффектами (Hassan S et al., 2020), приводя к нарушению как самого процесса пищеварения, так и всасывания нутриентов. Таким образом, для организации полноценного и эффективного питания цыплят-бройлеров необходимо экспериментальное подтверждение безопасности и эффективности всех возможных стратегий стимулирования роста без применения кормовых антибиотиков.

Цель исследования.

Изучение влияния ультрадисперсных частиц меди и комплексной ферментной добавки на продуктивные показатели цыплят-бройлеров.

Материалы и методы исследований.

Объекты исследования. Цыплята-бройлеры кросса Arbor Acres.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР No 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 исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Экспериментальная часть исследований была проведена в условиях вивария ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии» (ФНЦ БСТ РАН). Распределение животных проводили по принципу аналогичных групп, обособленным методом пар-аналогов. Так, были сформированы три группы (контроль, I, II) по 35 голов в каждой. Птицу содержали группами в клеточных батареях с соблюдением одинаковых технологических параметров содержания, рекомендованных для кросса Arbor Acres (Справочник по выращиванию бройлеров Arbor Acres, Aviagen, 2018). Кормление бройлеров осуществлялось полнорационным комбикормом (ПК) с питательностью согласно рекомендуемым нормам ВНИТИП. В исследовании была использована комплексная ферментная добавка (Ф) обладающая эндо-1,4-бета-ксилазназой (4000 ед/г), альфа-амилазой (400 ед/г) и протеазой (8000 ед/г) активностью (Finnfeeds Oy, Финляндия). Контрольная группа – ПК; I опытная группа – ПК+комплексная ферментная добавка (Ф). II опытная – ПК+Ф+ультрадисперсные частицы меди (ООО «Платина», г. Москва) с гидродинамическим радиусом $127 \pm 24,3$ нм в дозе 1,7 мг/кг корма. Медь в ультрадисперсной форме вводили в суспензию с дистиллированной водой с обработкой ультразвуковым процессором UP50H. Продолжительность эксперимента в общей сложности составила 42 дня, первые 7 суток – подготовительный период и 35 суток – экспериментальный.

На протяжении всего физиологического опыта производилась оценка мясной продуктивности цыплят-бройлеров путём ежесуточных индивидуальных взвешиваний с последующим расчётом скорости роста: абсолютный прирост – г, относительный прирост – % (Егоров И.А. и др., 2019). Посредством ежедневного учёта зоотехнических показателей производилось вычисление Европейского индекса эффективности производства.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены в ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф> на базе центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве». Ультразвуковой процессор UP50H (Helischer Ultrasonics, Германия).

Статистическая обработка. Обработку экспериментальных данных производили с помощью статистического анализа с использованием программного пакета «Statistica 12» («Stat Soft Inc.», USA) и «Microsoft Excel» («Microsoft», США). Проверка на нормальность распределения данных была проведена с помощью критерия согласия Колмогорова-Смирнова. Для оценки статистической значимости использовали параметрический t- критерий Стьюдента независимых групп.

Результаты исследований.

В ходе исследования установлено, для всех групп характерен высокий уровень сохранности – 100 %. При учёте кормов (рис. 1) было выявлено, что в стартовом периоде уровень потребления выше у бройлеров опытных групп, в частности в I – на 11,9 %, во II – на 10,7 % в сравнении с контролем. В ростовом периоде ситуация сложилась иная: животные I группы потребили на 2,1 % корма больше, чем контрольная птица. В свою очередь во II опытной группе уровень потребления был на 6,2 % ниже в сравнении с контролем. При анализе потребления корма за весь период выращивания установлено, что бройлеры I опытной группы потребили на 6,7 % больше, II опытной – на 1,8 % в сравнении с показателями контрольной группы.

Одним из основных показателей продуктивности сельскохозяйственной птицы является живая масса. Живая масса бройлеров в начале экспериментального периода находилась на одном уровне, разница по массе не достигала 5 %. По окончании эксперимента (42 дня) выявлено, что масса бройлеров I опытной группы на 10,2 % ($P \leq 0,05$) выше контроля. Разница по живой массе цыплят-бройлеров контрольной и II опытной групп составила 11,1 % ($P \leq 0,05$).

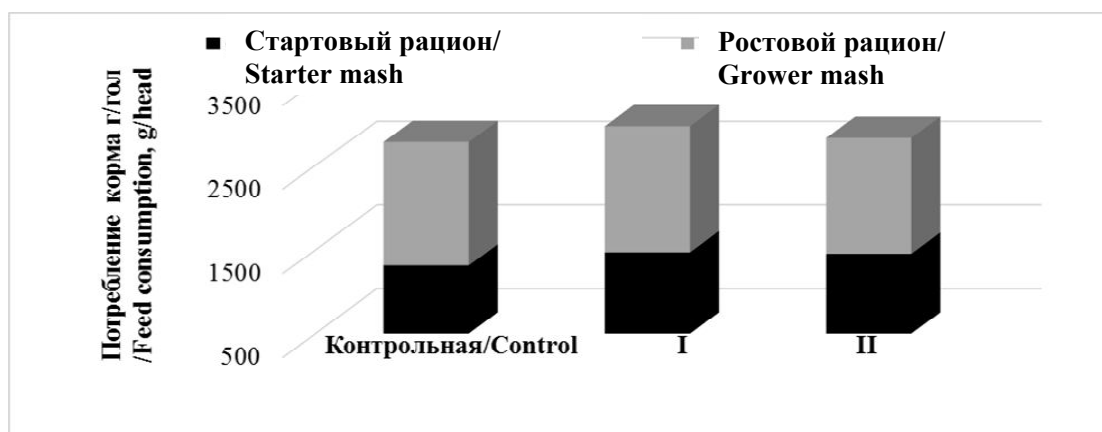
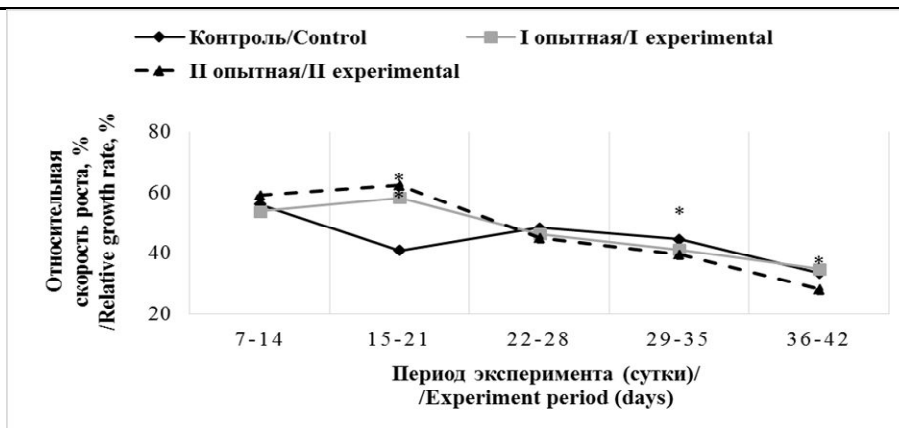


Рис. 1 – Диаграмма потребления корма за весь период выращивания цыплят-бройлеров Arbor Acres по периодам эксперимента, г/гол. (n=35, опыт в условиях вивария)

Figure 1 – Diagram of feed consumption for the entire period of growing of Arbor Acres broiler chickens by periods of the experiment, g/head (n=35, experiment in vivarium conditions)

При этом истинная скорость роста (рис. 2) соответственно также была различной в исследуемых группах. Учитывая высокую скорость роста в первый месяц жизни бройлеров, характер динамики исследуемого показателя на протяжении всего эксперимента был схожим во всех группах, за исключением второго экспериментального периода (14 суток).

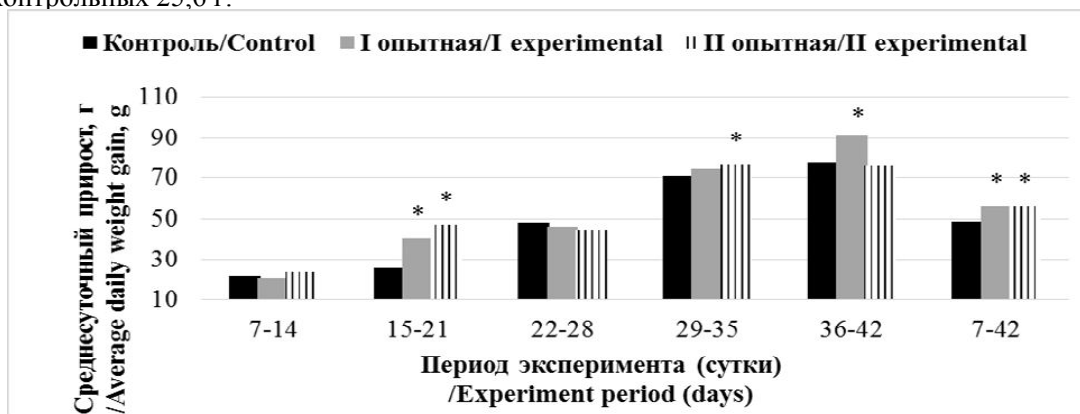


Примечание: * – $P \leq 0,05$ при сравнении с контрольной группой
Note: * – $P \leq 0.05$ when compared with the control group

Рис. 2 – График относительной скорости роста цыплят-бройлеров Arbor Acres по периодам эксперимента, % (n=35, опыт в условиях вивария)
Figure 2 – Graph of the relative growth rate of Arbor Acres broiler chickens over the periods of the experiment, % (n=35, experiment in vivarium conditions)

Так, относительная скорость роста в I опытной группе была выше на 17,5 % ($P \leq 0,05$), во II опытной – на 21,8 % ($P \leq 0,05$) в сравнении с контрольной группой. В целом, начиная с 22 суток выращивания, динамика относительной скорости роста на протяжении всего периода имела схожий характер и к концу эксперимента показатели скорости роста для бройлеров II опытной группы были снижены на 5,2 % ($P \leq 0,05$). При анализе относительной скорости роста за весь период выращивания с 7 по 42 сутки статистически значимых изменений выявлено не было, для I и II опытных групп характерна тенденция к увеличению на 3,8 % и на 4,3 % соответственно при сравнении с группой контроля.

Расчёт среднесуточных приростов (рис. 3) подтвердил, что на протяжении всего эксперимента с 7 по 42 сутки данный показатель в I и II опытных группах был выше на 15 % ($P \leq 0,05$) и 15,2 % ($P \leq 0,05$) соответственно относительно контроля. Разница по среднесуточному приросту была максимальной на 15 сутки эксперимента, для I опытной показатель – 40,4 г, для II – 47,2 г против контрольной 25,6 г.

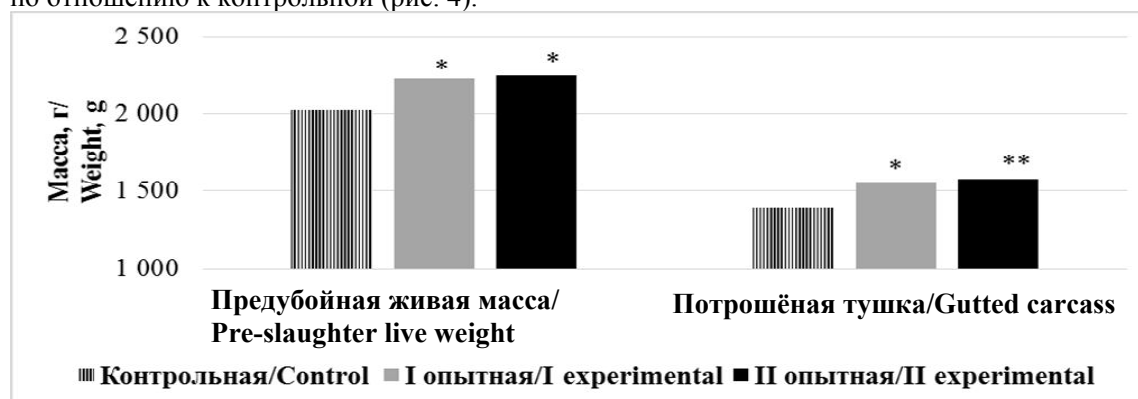


Примечание: * – $P \leq 0,05$ при сравнении с контрольной группой
Note: * – $P \leq 0.05$ when compared with the control group

Рис. 3 – Диаграмма среднесуточных приростов цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres в возрасте 42 суток по периодам эксперимента, г (n=35, опыт в условиях вивария)
Figure 3 – Diagram of the average daily gains of broiler chickens of the Arbor Acres cross at the age of 42 days by the periods of the experiment, g (n=35, experiment in vivarium conditions)

Индекс продуктивности для I опытной группы составил 379 единиц против 309 в контрольной. Во II группе разница данного показателя по отношению к контрольным значениям была выше, чем в I группе (70 единиц) и составила 88 единиц (397).

Убойные показатели характеризовались статистически значимыми изменениями массы потрошённой тушки, для I опытной группы разница составила 12,1 % ($P \leq 0,05$), для II – 13,3 % ($P \leq 0,01$) по отношению к контрольной (рис. 4).



Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ при сравнении с контрольной группой
Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ when compared with the control group

Рис. 4 – Убойные показатели цыплят-бройлеров в возрасте 42 суток, г (n=35, опыт в условиях вивария)

Figure 4 – Slaughter indicators of broiler chickens at the age of 42 days, g (n=35, experiment in vivarium conditions)

В ходе анализа результатов анатомической разделки туши цыплят-бройлеров (табл. 1) зафиксировали, что убойный выход превышал контрольные показатели в I опытной группе на 1,5 % ($P \leq 0,05$), во II – на 1,66 % ($P \leq 0,05$). Отношение съедобной части к несъедобной во II опытной группе на 5,5 % выше значений контроля. В ходе анализа общей мышечной массы установлено: в I опытной группе превышение данного показателя на 11,9 % ($P \leq 0,05$), разница между II опытной группы и контролем составила 13 % ($P \leq 0,05$).

Таблица 1. Показатели анатомической разделки цыплят-бройлеров в возрасте 42 суток (M±m) (n=35, опыт в условиях вивария)

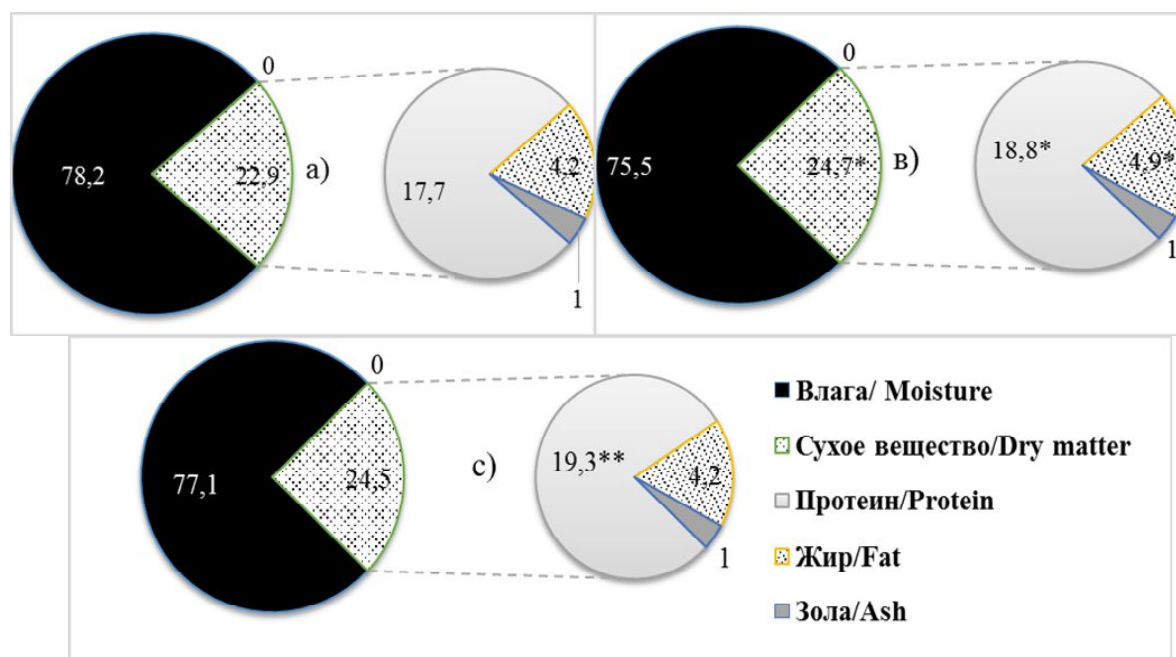
Table 1. Indicators of anatomical cutting of broiler chickens at the age of 42 days (M±m) (n=35, experiment in vivarium conditions)

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	контроль / Control	I опытная / I experimental	II опытная / II experimental
Убойный выход, % / Slaughter yield, %	68,32 ± 0,65	69,82 ± 0,24*	69,98 ± 0,51*
Отношение съедобной части к несъедобной / Edible part / Inedible part	1,81 ± 0,01	1,89 ± 0,05	1,91 ± 0,04*
Общая масса мышц, г / Muscle weight, g	941,6 ± 23,07	1053,5 ± 20,3*	1 064,33 ± 31,21*
Масса печени, г / Weight of the liver, g	41,68 ± 2,05	36,94 ± 1,47*	40,25 ± 1,08
Масса сердца, г / Heart weight, g	12,60 ± 0,64	13,03 ± 0,78	13,52 ± 0,92
Масса мышечного желудка, г / Muscle stomach weight, g	46,4 ± 2,9	45,15 ± 2,5	43,02 ± 2,44*
Масса селезёнки, г / Spleen weight, g	2,6 ± 0,14	2,5 ± 0,15	2,43 ± 0,12

Примечание: * – $P \leq 0,05$ при сравнении с контрольной группой
Note: * – $P \leq 0,05$ when compared with the control group

В процессе анатомической разделки устанавливали массу органов. Так, отметили тенденцию к снижению массы печени во II опытной группе, со статистически значимым снижением массы в I опытной на 11,4 % ($P \leq 0,05$) в сравнении с контролем. Масса мышечного желудка во II опытной группе была ниже на 7,3 % ($P \leq 0,05$).

Анализ химического состава мышечной ткани (рис. 5) цыплят-бройлеров позволил заключить, что в I опытной группе концентрация сухого вещества была выше на 1,8 % ($P \leq 0,05$), протеина – на 1,1 % ($P \leq 0,05$), жира – на 0,7 % ($P \leq 0,05$) в сравнении с контролем. Во II опытной группе концентрация протеина превышала контрольные значения на 1,6 % ($P \leq 0,05$).



Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ при сравнении с контрольной группой

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ when compared with the control group

Рис. 5 – Химический состав мышечной ткани цыплят-бройлеров в возрасте 42 суток, %:
а) контроль, в) I опытная, с) II опытная ($M \pm m$) ($n=35$, опыт в условиях вивария)

Figure 5 – Chemical composition of the muscle tissue of broiler chickens at the age of 42 days, %:
a) control, c) experimental I, c) experimental II ($M \pm m$) ($n=35$, experiment in vivarium conditions)

Таким образом, выявленные изменения относительной скорости роста, динамики среднесуточных приростов в сочетании с показателями анатомической разделки и химическим составом мышечной ткани опытных групп свидетельствуют о выраженном положительном влиянии как отдельного комплекса ферментных добавок, так и в совокупности с медью в ультрадисперсной форме на продуктивные показатели цыплят-бройлеров. Но значение показателя индекса продуктивности с учётом затраченного корма на 1 кг прироста свидетельствует о том, что экономически выгодной стратегией является скармливание комплексной ферментной добавки в сочетании с ультрадисперсными частицами меди.

Обсуждение полученных результатов.

Важным условием полноценного действия ферментов является наличие соответствующих субстратов (Singh AK et al., 2019), с этой целью в нашем исследовании в рацион бройлеров был введён ячмень (5 % – на старте и 10 % – на росте). Ячмень содержит в своём составе высокие уров-

ни некрахмальных полисахаридов с преобладающим полимером β -глюканом (Smeets N et al., 2018). Помимо этого в других злаковых компонентах рациона содержатся подобные полисахариды, в частности в пшенице и кукурузе – арабиноксиланы (ксилоза и арабиноза) (Musigwa S et al., 2021).

Растворимые некрахмальные полисахариды повышают вязкость кишечного содержимого, нарушая тем самым пищеварение. Нерастворимые, входящие в состав клеточных стенок, действуют как физический барьер для функционирования эндогенных ферментов, тем самым проявляя инкапсуляцию нутриентов или «эффект клетки» (Smeets N et al., 2018). В состав исследуемой ферментной добавки входит ксиланаза, способная разрушать матрикс клеточной стенки злаков рациона, высвобождая таким образом инкапсулированные углеводы, включая крахмал, свободные сахара, растворимые некрахмальные полисахариды (Disetlhe ARP et al., 2018). В то же время амилаза увеличивает трансформационный распад высвобождённых углеводов, в том числе крахмала в инкапсулированном эндосперме (McCafferty KW et al., 2022).

В результате меняется питательная ценность злаковых компонентов, что впоследствии находит отражение на продуктивных показателях цыплят-бройлеров, в частности в увеличении живой массы на 10,2 %. В целом можно предположить, что данная комбинация способна повышать усвояемость питательных веществ рациона, улучшая прирост массы тела и эффективность использования корма, что согласуется с результатами других исследователей (Singh AK et al., 2019).

Комплексная ферментная добавка способствует улучшенному использованию питательных веществ, вероятно, из-за деградации клеточной стенки (McCafferty KW et al., 2022). Кроме того, сложная смесь с разной ферментативной активностью деполимирирует некрахмальные полисахариды, что соответственно приводит к предсказуемому увеличению использования питательных веществ и энергии (Jiang Q et al., 2022).

Наращивание мышечной массы у цыплят-бройлеров происходит за счёт поступления белка. Процесс деградации белковых компонентов у бройлеров осуществляется на высоком уровне, но всё же из-за присутствия ряда антипитательных факторов часть белка остаётся в кишечнике в неизменном виде (Wickramasuriya SS et al., 2022). Протеаза, вероятно, способствует улучшению эффективности переваривания белка в верхних отделах желудочно-кишечного тракта бройлеров, увеличивая количество мРНК переносчиков олигопептидов, что способствует повышению эффективности поглощения пептидов и аминокислот в тонком кишечнике (McCafferty KW et al., 2022; Jiang Q et al., 2022). За счёт изменения выработки эндогенных ферментов поджелудочной железы что амилаза, что протеаза способны снижать потери эндогенных аминокислот (Wickramasuriya SS et al., 2022). Данный факт может способствовать повышению концентрации протеина в мышечной ткани в опытных группах.

Введение ультрадисперсных частиц меди также находит своё положительное влияние на продуктивные показатели цыплят-бройлеров. Вероятно, частицы меди в ультрадисперсной форме косвенно проявили синергетический эффект на комплексную ферментную добавку, что поспособствовало лучшему использованию компонентов корма.

Ультрадисперсные частицы Cu, обладая высокой биодоступностью, быстро диффундировали к клеткам слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта, проникая через пищеварительный барьер, и поступили в кровь (Yausheva E et al., 2018). Дальнейшее участие меди заключалось в эффективном участии в метаболических процессах организма. Так, медь способна увеличивать поглощение жирных кислот, жирорастворимых витаминов, тем самым улучшая метаболизм питательных веществ и влияя на рост (Sizova E et al., 2020). Кроме этого, медь способна увеличивать активность липазы и фосфолипазы в тонком кишечнике (Scott A et al., 2017). Но основное действие меди заключается в регуляции микробиоты желудочно-кишечного тракта посредством бактерицидного и бактериостатического действия. Механизмы, объясняющие антимикробный эффект ионов меди, связаны с прямым повреждением мембраны бактерий, что приводит к потере мембранного потенциала и утечке цитоплазматического содержимого (Sizova E et al., 2020). Кроме того, активные формы кислорода, продуцируемые ионами меди, вызывают дальнейшее повреждение клеточных структур с последующей деградацией ДНК (Leyva-Diaz AA et al., 2021).

Таким образом, вероятно, действуя на разные точки приложения и в разных частях желудочно-кишечного тракта цыплят-бройлеров, действие комплексной ферментной добавки и ультрадисперсных частиц меди характеризуется синергизмом, что в конечном итоге способствует модуляции пищеварительных процессов и повышению энергетической ценности корма.

Заключение.

Таким образом, комбинация меди в ультрадисперсной форме и комплексной ферментной добавки в данном исследовании привела к улучшению продуктивности бройлеров, в отличие от отдельного применения ферментной добавки. Этот факт подтверждает нашу гипотезу о возможном аддитивном эффекте исследуемых веществ, что в дальнейшем может способствовать увеличению рентабельности бройлерного производства. Тем не менее, требуются дополнительные уточняющие исследования о возможном синергизме, антагонизме и скорости прохождения ферментных добавок в совокупности с микроэлементами, а также влияние на экосистему желудочно-кишечного тракта цыплят-бройлеров.

Список источников

1. Руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы: метод. пособие / И.А. Егоров, В.А. Манукян, Т.Н. Ленкова, Т.А. Егорова, Т.М. Околелова, Е.Н. Андрианова, А.Н. Шевяков, Т.В. Егорова, Е.Ю. Байковская, Н.Н. Гогина, Л.И. Криворучко, И.Г. Сысоева (ФНЦ «ВНИТИП» РАН), И.Г. Панин, В.В. Гречишников, А.И. Панин, С.В. Кустова (КормРесурс), В.А. Афанасьев (ВНИИКП), Ю.А. Пономаренко (ООО «Фермент»); под общ. ред. академика РАН В.И. Фисинина и академика РАН И.А. Егорова. М.: ЛИКА, 2019. 215 с. [Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN, Egorova TA, Okolelova TM, Andrianova EN, Shevyakov AN, Egorova TV, Baykovskaya EY, Gogina NN, Krivoruchko LI, Sysoeva IG. (FNTs «VNITIP» RAN), Panin IG, Grechishnikov VV, Panin AI, Kustova SV (KormResurs), Afanasiev VA (VNIKIP), Ponomarenko YA (OOO «Ferment»). Rukovodstvo po kormleniyu sel'skokhozyaistvennoi ptitsy: metod. posobie. pod obshch. red. akademika RAN V.I. Fisinina i akademika RAN I.A. Egorova. Moscow: LIKA; 2019: 215 p. (*In Russ.*)].
2. Справочник по выращиванию бройлеров Arbor Acres. Aviagen, 2018. 155 с. [Spravochnik po vyrashchivaniyu broilerov Arbor Acres. Aviagen; 2018:155 p. (*In Russ.*)].
3. Al-Mnaser A, Dakheel M, Alkandari F, Woodward M. Polyphenolic phytochemicals as natural feed additives to control bacterial pathogens in the chicken gut. *Archives of Microbiology*. 2022;204:253. doi: 10.1007/s00203-022-02862-5
4. Arczewska-Wlosek A, Swiatkiewicz S, Bederska-Lojewska D, Orczewska-Dudek S, Szczurek W, Boros D, Frasz A, Tomaszewska E, Dobrowolski P, Muszynski S, Kwiecien M, Schwarz T. The efficiency of xylanase in broiler chickens fed with increasing dietary levels of rye. *Animals (Basel)*. 2019;9(2):46. doi: 10.3390/ani9020046
5. Ayalew H, Zhang H, Wang J, Wu S, Qiu K, Qi G, Tekeste A, Wassie T, Chanie D. Potential feed additives as antibiotic alternatives in broiler production. *Front Vet Sci*. 2022;9:916473. doi: 10.3389/fvets.2022.916473
6. Biswas A, Dev K, Tyagi PK, Mandal A. The effect of multi-strain probiotics as feed additives on performance, immunity, expression of nutrient transporter genes and gut morphometry in broiler chickens. *Anim Biosci*. 2022;35(1):64-74. doi: 10.5713/ab.20.0749
7. Diseth ARP, Marume U, Mlambo V. Humic acid and enzymes inclusion in canola-based diets generate different responses in growth performance, protein utilization dynamics, and hemato-biochemical parameters in broiler chickens. *Poult Sci*. 2018;97(8):2745-2753. doi: 10.3382/ps/pey047
8. Food and agriculture organization of the United Nations (FAO) [Internet] Gateway to poultry production and products. Available from: <https://www.fao.org/poultry-production-products/en/>. 2020. (cited: 20.10.2022)

9. Hamid H, Zhao LH, Ma GY, Li WX, Shi HQ, Zhang JY, Ji C, Ma QG. Evaluation of the overall impact of antibiotics growth promoters on broiler health and productivity during the medication and withdrawal period. *Poult Sci.* 2019;98(9):3685-3694. doi: 10.3382/ps/pey598

10. Hassan S, Hassan FU, Rehman MS. Nano-particles of trace minerals in poultry nutrition: potential applications and future prospects. *Biol Trace Elem Res.* 2020;195(2):591-612. doi: 10.1007/s12011-019-01862-9

11. Hu J, Ingale S, Rathi P, Zhang JY, Kim IH. Influence of exogenous acid protease in broiler chickens fed corn-soybean meal-based diets. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 2020;104(1):204-211. doi: 10.1111/jpn.13231

12. Jiang Q, Wu W, Wan Y, Wei Y, Kawamura Y, Li J, Guo Y, Ban Z, Zhang B. Energy values evaluation and improvement of soybean meal in broiler chickens through supplemental mutienzyme. *Poult Sci.* 2022;101(8):101978. doi: 10.1016/j.psj.2022.101978

13. Leyva-Diaz AA, Hernandez-Patlan D, Solis-Cruz B, Adhikari B, Kwon YM, Latorre JD, Hernandez-Velasco X, Fuente-Martinez B, Hargis BM, Lopez-Arellano R, Tellez-Isaias G. Evaluation of curcumin and copper acetate against *Salmonella* Typhimurium infection, intestinal permeability, and cecal microbiota composition in broiler chickens. *J Anim Sci Biotechnol.* 2021;12(1):23. doi: 10.1186/s40104-021-00545-7

14. McCafferty KW, Choct M, Musigwa S, Morgan NK, Cowieson AJ, Moss AF. Protease supplementation reduced the heat increment of feed and improved energy and nitrogen partitioning in broilers fed maize-based diets with supplemental phytase and xylanase. *Anim Nutr.* 2022;10:19-25. doi: 10.1016/j.aninu.2021.10.011

15. Musigwa S, Cozannet P, Morgan N, Swick RA, Wu SB. Multi-carbohydrase effects on energy utilization depend on soluble non-starch polysaccharides-to-total non-starch polysaccharides in broiler diets. *Poult Sci.* 2021;100(2):788-796. doi: 10.1016/j.psj.2020.10.038

16. Nguyen HTT, Morgan N, Roberts JR, Swick RA, Toghyani M. Copper hydroxychloride is more efficacious than copper sulfate in improving broiler chicken's growth performance, both at nutritional and growth-promoting levels. *Poult Sci.* 2020;99(12):6964-6973. doi: 10.1016/j.psj.2020.09.053

17. Salaheen S, Kim SW, Haley BJ, Van Kessel JAS, Biswas D. Alternative growth promoters modulate broiler gut microbiome and enhance body weight gain. *Front Microbiol.* 2017;8(1):2088. doi: 10.3389/fmicb.2017.02088

18. Scott A, Vadalasetty KP, Łukasiewicz M, Jaworski S, Wierzbicki M, Chwalibog A, Sawosz E. Effect of different levels of copper nanoparticles and copper sulphate on performance, metabolism and blood biochemical profiles in broiler chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 2017;102(1), e364–e373. doi: 10.1111/jpn.12754

19. Shehata AA, Yalçın S, Latorre JD, Basiouni S, Attia YA, Abd El-Wahab A, Visscher C, El-Seedi HR, Huber C, Hafez HM, Eisenreich W, Tellez-Isaias G. Probiotics, prebiotics, and phytogenic substances for optimizing gut health in poultry. *Microorganisms.* 2022;10(2):395. doi: 10.3390/microorganisms10020395

20. Singh AK, Tiwari UP, Berrocoso JD, Dersjant-Li Y, Awati A, Jha R. Effects of a combination of xylanase, amylase and protease, and probiotics on major nutrients including amino acids and non-starch polysaccharides utilization in broilers fed different level of fibers. *Poult Sci.* 2019;98(11):5571-5581. doi: 10.3382/ps/pez310

21. Sizmaz O et al. Effect of various concentration of butyric acid on growth performance, intestinal lesion scores, and body composition of broilers raised on used litter. *Journal of Applied Poultry Research.* 2022;31(4):100296. doi: 10.1016/j.japr.2022.100296

22. Sizova E, Miroshnikov S, Lebedev S, Usha B, Shabunin S. Use of nanoscale metals in poultry diet as a mineral feed additive. *Anim Nutr.* 2020;6(2):185-191. doi: 10.1016/j.aninu.2019.11.007

23. Smeets N, Nuyens F, Van Campenhout L, Delezie E, Niewold TA. Interactions between the concentration of non-starch polysaccharides in wheat and the addition of an enzyme mixture in a broiler digestibility and performance trial. *Poult Sci.* 2018;97(6):2064-2070. doi: 10.3382/ps/pey038

24. Wang C, Yuan T, Yang J, Zheng W, Wu Q, Zhu K, Mou X, Wang L, Nie K, Li X, Zhu Y. Responses of combined non-starch polysaccharide enzymes and protease on growth performance, meat quality, and nutrient digestibility of yellow-feathered broilers fed with diets with different crude protein levels. *Front Vet Sci.* 2022;9:946204. doi: 10.3389/fvets.2022.946204
25. Wickramasuriya SS, Macelline SP, Kim E, Shin TK, Cho HM, Jayasena DD, Heo JM. Exogenous emulsifiers and multi-enzyme combination improves growth performance of the young broiler chickens fed low energy diets containing vegetable oil. *Anim Biosci.* 2022;35(10):1585-1591. doi: 10.5713/ab.22.0024
26. Yausheva E, Miroshnikov S, Sizova E. Intestinal microbiome of broiler chickens after use of nanoparticles and metal salts. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018;25(18):18109-18120. doi: 10.1007/s11356-018-1991-5
27. Zhou H, Wu Y, Sun X, Yin D, Wang Y, Mahmood T, Yuan J. Effects of exogenous α -(1,4)-amylase on the utilisation of corn starch and glucose metabolism in broiler chickens. *Animal.* 2021;15(11):100396. doi: 10.1016/j.animal.2021.100396

References

1. Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN, Egorova TA, Okolelova TM, Andrianova EN, Shevyakov AN, Egorova TV, Baykovskaya EYu, Gogina NN, Krivoruchko LI, Sysoeva IG. (FSC "VNITIP" RAS), Panin IG, Grechishnikov VV, Panin AI, Kustova SV (KormResurs), Afanasiev VA (VNIKIP), Ponomarenko YuA (Ferment LLC). Guidelines for feeding poultry: a method. allowance. under total ed. Academician of the Russian Academy of Sciences V.I. Fisinin and Academician of the Russian Academy of Sciences I.A. Egorova. Moscow: LIKA; 2019:215 p.
2. Arbor Acres Broiler Management Handbook. Aviagen; 2018:155 p.
3. Al-Mnaser A, Dakheel M, Alkandari F, Woodward M. Polyphenolic phytochemicals as natural feed additives to control bacterial pathogens in the chicken gut. *Archives of Microbiology.* 2022;204:253. doi: 10.1007/s00203-022-02862-5
4. Arczewska-Wlosek A, Swiatkiewicz S, Bederska-Lojewska D, Orczewska-Dudek S, Szczurek W, Boros D, Frasz A, Tomaszewska E, Dobrowolski P, Muszynski S, Kwiecien M, Schwarz T. The efficiency of xylanase in broiler chickens fed with increasing dietary levels of rye. *Animals (Basel).* 2019;9(2):46. doi: 10.3390/ani9020046
5. Ayalew H, Zhang H, Wang J, Wu S, Qiu K, Qi G, Tekeste A, Wassie T, Chanie D. Potential feed additives as antibiotic alternatives in broiler production. *Front Vet Sci.* 2022;9:916473. doi: 10.3389/fvets.2022.916473
6. Biswas A, Dev K, Tyagi PK, Mandal A. The effect of multi-strain probiotics as feed additives on performance, immunity, expression of nutrient transporter genes and gut morphometry in broiler chickens. *Anim Biosci.* 2022;35(1):64-74. doi: 10.5713/ab.20.0749
7. Diseth ARP, Marume U, Mlambo V. Humic acid and enzymes inclusion in canola-based diets generate different responses in growth performance, protein utilization dynamics, and hemato-biochemical parameters in broiler chickens. *Poult Sci.* 2018;97(8):2745-2753. doi: 10.3382/ps/pey047
8. Food and agriculture organization of the United Nations (FAO) [Internet] Gateway to poultry production and products. Available from: <https://www.fao.org/poultry-production-products/en/>. 2020. (cited: 20.10.2022).
9. Hamid H, Zhao LH, Ma GY, Li WX, Shi HQ, Zhang JY, Ji C, Ma QG. Evaluation of the overall impact of antibiotics growth promoters on broiler health and productivity during the medication and withdrawal period. *Poult Sci.* 2019;98(9):3685-3694. doi: 10.3382/ps/pey598
10. Hassan S, Hassan FU, Rehman MS. Nano-particles of trace minerals in poultry nutrition: potential applications and future prospects. *Biol Trace Elem Res.* 2020;195(2):591-612. doi: 10.1007/s12011-019-01862-9

11. Hu J, Ingale S, Rathi P, Zhang JY, Kim IH. Influence of exogenous acid protease in broiler chickens fed corn-soybean meal-based diets. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2020;104(1):204-211. doi: 10.1111/jpn.13231
12. Jiang Q, Wu W, Wan Y, Wei Y, Kawamura Y, Li J, Guo Y, Ban Z, Zhang B. Energy values evaluation and improvement of soybean meal in broiler chickens through supplemental mutienzyme. *Poult Sci*. 2022;101(8):101978. doi: 10.1016/j.psj.2022.101978
13. Leyva-Diaz AA, Hernandez-Patlan D, Solis-Cruz B, Adhikari B, Kwon YM, Latorre JD, Hernandez-Velasco X, Fuente-Martinez B, Hargis BM, Lopez-Arellano R, Tellez-Isaias G. Evaluation of curcumin and copper acetate against *Salmonella* Typhimurium infection, intestinal permeability, and cecal microbiota composition in broiler chickens. *J Anim Sci Biotechnol*. 2021;12(1):23. doi: 10.1186/s40104-021-00545-7
14. McCafferty KW, Choct M, Musigwa S, Morgan NK, Cowieson AJ, Moss AF. Protease supplementation reduced the heat increment of feed and improved energy and nitrogen partitioning in broilers fed maize-based diets with supplemental phytase and xylanase. *Anim Nutr*. 2022;10:19-25. doi: 10.1016/j.aninu.2021.10.011
15. Musigwa S, Cozannet P, Morgan N, Swick RA, Wu SB. Multi-carbohydrase effects on energy utilization depend on soluble non-starch polysaccharides-to-total non-starch polysaccharides in broiler diets. *Poult Sci*. 2021;100(2):788-796. doi: 10.1016/j.psj.2020.10.038
16. Nguyen HTT, Morgan N, Roberts JR, Swick RA, Toghyani M. Copper hydroxychloride is more efficacious than copper sulfate in improving broiler chicken's growth performance, both at nutritional and growth-promoting levels. *Poult Sci*. 2020;99(12):6964-6973. doi: 10.1016/j.psj.2020.09.053
17. Salaheen S, Kim SW, Haley BJ, Van Kessel JAS, Biswas D. Alternative growth promoters modulate broiler gut microbiome and enhance body weight gain. *Front Microbiol*. 2017;8(1):2088. doi: 10.3389/fmicb.2017.02088
18. Scott A, Vadalasetty KP, Łukasiewicz M, Jaworski S, Wierzbicki M, Chwalibog A, Sawosz E. Effect of different levels of copper nanoparticles and copper sulphate on performance, metabolism and blood biochemical profiles in broiler chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2017;102(1), e364–e373. doi: 10.1111/jpn.12754
19. Shehata AA, Yalçın S, Latorre JD, Basiouni S, Attia YA, Abd El-Wahab A, Visscher C, El-Seedi HR, Huber C, Hafez HM, Eisenreich W, Tellez-Isaias G. Probiotics, prebiotics, and phytogenic substances for optimizing gut health in poultry. *Microorganisms*. 2022;10(2):395. doi: 10.3390/microorganisms10020395
20. Singh AK, Tiwari UP, Berrocoso JD, Dersjant-Li Y, Awati A, Jha R. Effects of a combination of xylanase, amylase and protease, and probiotics on major nutrients including amino acids and non-starch polysaccharides utilization in broilers fed different level of fibers. *Poult Sci*. 2019;98(11):5571-5581. doi: 10.3382/ps/pez310
21. Sizmaz O et al. Effect of various concentration of butyric acid on growth performance, intestinal lesion scores, and body composition of broilers raised on used litter. *Journal of Applied Poultry Research*. 2022;31(4):100296. doi: 10.1016/j.japr.2022.100296
22. Sizova E, Miroshnikov S, Lebedev S, Usha B, Shabunin S. Use of nanoscale metals in poultry diet as a mineral feed additive. *Anim Nutr*. 2020;6(2):185-191. doi: 10.1016/j.aninu.2019.11.007
23. Smeets N, Nuyens F, Van Campenhout L, Delezie E, Niewold TA. Interactions between the concentration of non-starch polysaccharides in wheat and the addition of an enzyme mixture in a broiler digestibility and performance trial. *Poult Sci*. 2018;97(6):2064-2070. doi: 10.3382/ps/pey038
24. Wang C, Yuan T, Yang J, Zheng W, Wu Q, Zhu K, Mou X, Wang L, Nie K, Li X, Zhu Y. Responses of combined non-starch polysaccharide enzymes and protease on growth performance, meat quality, and nutrient digestibility of yellow-feathered broilers fed with diets with different crude protein levels. *Front Vet Sci*. 2022;9:946204. doi: 10.3389/fvets.2022.946204

25. Wickramasuriya SS, Macelline SP, Kim E, Shin TK, Cho HM, Jayasena DD, Heo JM. Exogenous emulsifiers and multi-enzyme combination improves growth performance of the young broiler chickens fed low energy diets containing vegetable oil. *Anim Biosci.* 2022;35(10):1585-1591. doi: 10.5713/ab.22.0024

26. Yausheva E, Miroshnikov S, Sizova E. Intestinal microbiome of broiler chickens after use of nanoparticles and metal salts. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018;25(18):18109-18120. doi: 10.1007/s11356-018-1991-5

27. Zhou H, Wu Y, Sun X, Yin D, Wang Y, Mahmood T, Yuan J. Effects of exogenous α -(1,4)-amylase on the utilisation of corn starch and glucose metabolism in broiler chickens. *Animal.* 2021;15(11):100396. doi: 10.1016/j.animal.2021.100396

Информация об авторах:

Ксения Сергеевна Нечитайло, научный сотрудник центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29.

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологических наук, руководитель центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; профессор кафедры биологии и почвоведения, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: 8-912-344-99-07.

Information about the authors:

Ksenia S Nechitailo, Researcher at the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Scientific Centre for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 January St., Orenburg, 460000.

Elena A Sizova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Centre "Nanotechnologies in Agriculture", Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 January St., Orenburg, 460000; Professor of the Department of Biology and Soil Science, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, tel.: 8-912-344-99-07.

Статья поступила в редакцию 11.11.2022; одобрена после рецензирования 15.11.2022; принята к публикации 12.12.2022.

The article was submitted 11.11.2022; approved after reviewing 15.11.2022; accepted for publication 12.12.2022.