

Научная статья

УДК 636.5:636.087.7

doi:10.33284/2658-3135-104-4-22

**Переваримость питательных веществ при использовании
в рационе цыплят-бройлеров органоминеральной добавки**

Анастасия Павловна Иванищева¹, Елена Анатольевна Сизова², Ксения Сергеевна Нечитайло³,

^{1,2,3}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹n79228964398@yandex.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8264-4616>

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

³k.nechit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8755-414X>

Аннотация. Некоторые полисахариды, в том числе хитозан, привлекательны для использования в кормлении благодаря своим свойствам. Хитозан при введении с кормом способен ферментативно расщепляться и усваиваться в виде низкомолекулярных соединений. Олигомеры хитозана оказывают влияние на неспецифические факторы резистентности, стимулируя работу иммунной системы. Целью исследований явилась оценка влияния хитозана и ультрадисперсных частиц (УДЧ) Fe и Cu на рост, переваримость питательных веществ и химический состав тканей тела цыплят-бройлеров. Исследование проводилось на цыплятах-бройлерах кросса «Арбор Айкерс» (n=60) в условиях вивария. Применение хитозана (I группа) и УДЧ (II группа) приводит к положительному продуктивному эффекту, однако совместное скармливание хитозана с УДЧ (III группа) не даёт подобного результата. Также УДЧ влияет на способность хитозана абсорбировать жир в тонкой кишке, в результате чего увеличивается его отложение. Таким образом, хитозан обладает желательными кормовыми характеристиками для успешного использования в рационах бройлеров, способствуя наилучшей переваримости и усвояемости питательных веществ и, как следствие, продуктивному эффекту.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, хитозан, УДЧ Fe, УДЧ Cu, переваримость

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

Для цитирования: Иванищева А.П., Сизова Е.А., Нечитайло К.С. Переваримость питательных веществ при использовании в рационе цыплят-бройлеров органоминеральной добавки // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104, № 4. С. 22-31. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-22>

Original article

Digestibility of nutrients after using an organic mineral supplement in the diet of broiler chickens

Anastasia P Ivanischeva¹, Elena A Sizova², Ksenia S Nechitailo³

^{1,2,3}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹n79228964398@yandex.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8264-4616>

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

³k.nechit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8755-414X>

Abstract. Several polysaccharides, including chitosan, are attractive for feed use due to their properties. Chitosan administered with food is capable of enzymatically degrading and assimilating in the form of low molecular weight compounds. Chitosan oligomers affect nonspecific resistance factors by stimulating the immune system. The aim of the research was to assess the effect of chitosan and ultrafine particles (UFPs) of Fe and Cu on growth, digestibility of nutrients and chemical composition of body tissues of

broiler chickens. The study was carried out on broiler chickens of the Arbor Acres cross (n = 60) in a vivarium. The use of chitosan (group I) and UFPs (group II) lead to a positive productive effect, however, joint feeding of chitosan and UFPs (group III) does not give a similar result. UFPs also affect the ability of chitosan to absorb fat in the small intestine, resulting in increased fat deposition. Thus, chitosan has the desired feed characteristics for successful use in broiler diets, contributing to the best digestibility and absorption of nutrients and, as a consequence, the productive effect.

Keywords: broiler chicken, feeding, chitosan, Fe UFPs, Cu UFPs, digestibility

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: Ivanischeva AP, Sizova EA, Nechitailo KS. Digestibility of nutrients after using an organic mineral supplement in the diet of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):22-31. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-22>

Введение.

Одной из перспективных кормовых добавок является хитозан, природный биополимер, имеющий хорошую биосовместимость, способность к биодegradации, низкую аллергенность (Aspden TJ et al., 1997). Также он обладает антимикробной активностью и может улучшать иммунные функции (Seferian PG and Martinez ML, 2000; Chou TC et al., 2003), оказывает благотворное влияние на продуктивность животных (Shi BL et al., 2005).

Хитозановые олигосахариды, функциональный полисахарид, представляет собой природный щелочной полимер глюкозамина, полученный путём химического и ферментативного гидролиза хитозана (Zou P et al., 2016) и рассматриваемый в качестве альтернативы антибиотикам в животноводстве (Zhou T et al., 2009; Li J et al., 2019). Предыдущие исследования показали, что добавление хитозановых олигосахаридов в рацион может улучшить показатели роста (Li XJ et al., 2007), антиоксидантную способность (Li XC et al., 2017), морфологию кишечника и барьерную функцию.

Хитозан при введении с кормом способен ферментативно расщепляться и усваиваться в виде низкомолекулярных соединений. Олигомеры хитозана оказывают влияние на неспецифические факторы резистентности, стимулируя работу иммунной системы. Хитозан активно используется в качестве носителя для доставки лекарств, биомедицинского материала и сорбента (Мао HQ et al., 2001). К тому же остаётся актуальным вопрос загрязнения не только окружающей среды, но и силой токсинами организма животных. Поиску комплексных решений, направленных на одновременную сорбцию и безопасность, а также на способность адресной доставки вещества, уделяется много внимания.

Цель исследования.

Оценка влияния совместного применения хитозана и УДЧ Fe и Cu на организм птицы.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса «Арбор Аикрес»

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, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества исследованных опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследования проведены на цыплятах-бройлерах кросса «Арбор Аикрес» (n=60) в условиях вивария ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН в 2021 г. В эксперименте сформированы четыре группы (n=15): цыплята контрольной группы получали основной рацион, в состав которого входит сульфат железа ($\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$) и меди ($\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$), I опытной добавляли хитозан в дозе 1 мг/кг корма («Эвалар», Россия), II опытной – $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ заменили на УДЧ Fe в дозе 17,5 мг/кг

корма («Передовые порошковые технологии», Томск, Россия), а $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ – на УДЧ Cu в дозе 1,7 мг/кг корма (ООО «Платина», Москва, Россия), в III опытной давали УДЧ железа и меди совместно с хитозаном. Химический состав помёта, кормов и тканей тела бройлеров определялся по стандартным методикам.

Оборудование и технические средства. Лабораторные исследования проводились с использованием оборудования ЦКП ФНЦ БСТ РАН <https://xn---btbzumgw.xn--p1ai/> по стандартным методикам.

Статистическая обработка. Данные выражаются в виде средних значений \pm стандартной ошибки среднего значения ($M \pm m$). Статистический анализ проводился с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Значимость групповых различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента при $P \leq 0,05$, признанного достоверным.

Результаты исследования.

Рост и развитие цыплят-бройлеров. В ходе эксперимента были отмечены значительные изменения в потреблении корма с максимальным показателем в I опытной группе. Птица III опытной группы имела наименьшую массу к концу эксперимента по сравнению с контролем, что обусловлено низкой поедаемостью корма. В I опытной группе наблюдается прирост живой массы, превышающий контроль на 5,7 %. Таким образом, обогащение рациона хитозаном обеспечивает максимальные показатели живой массы цыплят-бройлеров (табл. 1).

Таблица 1. Прирост живой массы и затраты корма
Table 1. Live weight gain and feed costs

Группа / Group	Прирост живой массы за опыт / Live weight gain per experiment		Затраты корма на 1 кг прироста / Feed costs per 1 kg gain	
	кг / kg	% к контролю / % to control	кг / kg	% к контролю / % to control
Контрольная / Control	1,4 \pm 0,04	100,0	2,23	100,0
I опытная / group I	1,48 \pm 0,06	105,7	2,36	105,8
II опытная / group II	1,44 \pm 0,1	102,8	2,34	104,9
III опытная / group III	1,35 \pm 0,1	96,4	2,14	95,9

При совместном скармливании тестируемых веществ (III опытная группа) отмечается снижение потребления корма, в следствие чего снижается и прирост живой массы на 3,6 % относительно контроля. Для II опытной группы характерно увеличение потребления корма и прироста на 4,9 и 2,9 % соответственно по сравнению с контролем.

Переваримость корма цыплят-бройлеров. В эксперименте установлено изменение переваримости компонентов рациона (рис. 1). В I опытной группе показатели переваримости были выше: органического вещества – на 3,7 % ($P \leq 0,05$), протеина – на 0,4 %, жира – 0,1 %, а углеводов – 3,8 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля.

При совместном скармливании хитозана и УДЧ (III группа) наблюдается иная динамика. Так, коэффициент переваримости органического вещества снижается на 5,5 % ($P \leq 0,05$), протеина – на 3,3 % ($P \leq 0,05$), жира – на 0,2 %, углеводов – на 13,3 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с контролем.

Химический состав тканей тела цыплят-бройлеров. Изменения в химическом составе особенно заметны в скелетных мышцах (рис. 2). Уровень протеина достоверно снижается во II и III опытных группах на 8,5 и 8,9 % соответственно относительно контроля.

Наблюдается тенденция к изменению энергии во всех группах за счёт увеличения жира в мышечной ткани на 13 % ($P \leq 0,05$) в I группе, во II – на 15,9 % ($P \leq 0,05$) и в III группе – на 20,2 % по сравнению с контролем. Повышенный уровень жира характерен для костной ткани цыплят-бройлеров со значительной разницей в III группе (21 %).

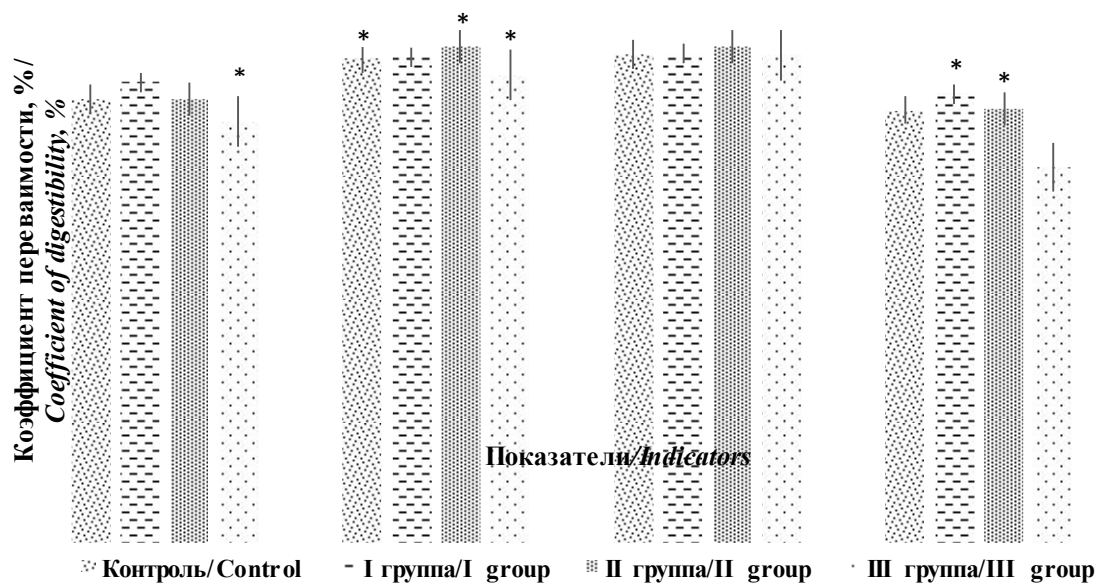


Рис. 1 – Коэффициент переваримости питательных веществ корма в конце эксперимента (42 суток), %

Figure 1 – Coefficient of digestibility of feed nutrients at the end of the experiment (42 days), %

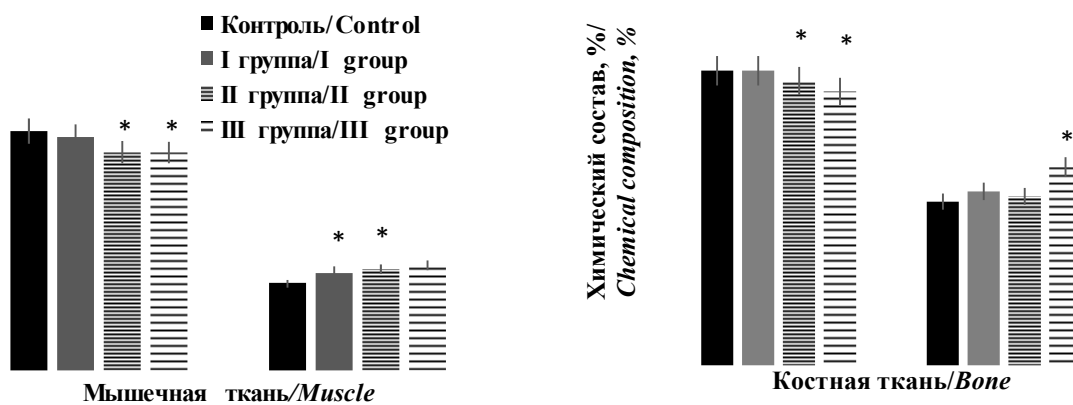


Рис. 2 – Химический состав тканей тела бройлеров «Arbor Acres» в возрасте 42 суток (опыт в условиях вивария, $M \pm m$, $n=15$)

Figure 2 – Chemical composition of tissues of Arbor Acres broilers at the age of 42 days (experiment in vivarium conditions, $M \pm m$, $n=15$)

Таким образом, УДЧ влияет на способность хитозана абсорбировать жир в тонкой кишке, в результате чего увеличивается его отложение.

Обсуждение полученных результатов.

Используемые в эксперименте вещества – хитозан и УДЧ металлов являются совместимыми и биологически активными. УДЧ широко применяются в животноводстве (Mohapatra P et al., 2014; Miroshnikov SA et al., 2015; Сизова Е.А. и др., 2016; Fisinin VI et al., 2018) в качестве стимуляторов роста и источников микроэлементов (Yausheva E et al., 2018). В зависимости от физиохимических характеристик УДЧ могут обладать антибактериальным действием (Miroshnikov S et al., 2019) и индуцировать апоптоз (El-Kassasa S et al., 2018), оказывать влияние на структуру органов-мишеней (Bergin IL and Witzmann FA, 2013).

Цыплята-бройлеры, получающие хитозан, имели тенденцию к лучшему росту и эффективному перевариванию корма, поскольку хитозан влияет на микрофлору кишечника, улучшая пищеварение и всасывание нутриентов (Huang RL et al., 2005). Повышенная переваримость питательных веществ в кишечнике бройлеров, получавших хитозансодержащие рационы, связана с действием хитозана как пребиотика, влияющего на активность и численность микроорганизмов (Choi KH et al., 1994; LeMieux FM et al., 2003; Wang XW et al., 2003). Также хитозан может стимулировать секрецию пищеварительных ферментов (Le W et al., 2015), влиять на структуру кишечной стенки (Khambualai O et al., 2009; Khambualai O et al., 2008), повышать переваримость сухого вещества, N, Ca и P и, как следствие, улучшать усвояемость питательных веществ и показатели роста (Huang RL et al., 2005; Swiatkiewicz S et al., 2014). Использование хитозана в рационе бройлеров усиливает нежность мяса, тем самым улучшая его качество (Lan R et al., 2021).

В качестве альтернативных источников микроэлементов используют УДЧ металлов. Данные о переваримости подтверждаются результатами, полученными рядом авторов. Высокая переваримость и усвояемость питательных веществ может быть обусловлена высокой биодоступностью и действием УДЧ как катализаторов обменных процессов (Liu W et al., 2017; Яушева Е.В. и др., 2016; Logachev K et al., 2015).

Результаты данного исследования показали, что совместное скармливание хитозана и УДЧ приводит к подавлению роста и продуктивности птицы. Это подтверждают и Wang C с коллегами (2011) говоря, что совместное скармливание хитозана и УДЧ может мешать перевариванию и всасыванию жиров. Однако есть исследования, показывающие улучшение показателей роста и продуктивности при совместном использовании данных добавок (Collier CT et al., 2003).

Заключение.

Таким образом, хитозан обладает желательными кормовыми характеристиками для успешного использования в рационах бройлеров, способствуя наилучшей усвояемости питательных веществ и, как следствие, продуктивному эффекту.

Список источников

1. Наночастицы Fe в сочетании с аминокислотами изменяют продуктивные и иммунологические показатели у цыплят-бройлеров / Е.В. Яушева, С.А. Мирошников, Д.Б. Косян, Е.А. Сизова // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 6. С. 912-920. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.912rus [Yausheva EV, Miroshnikov SA, Kosyan DB, Sizova EA. Nanoparticles in combination with amino acids change productive and immunological indicators of broiler chicken. *Agricultural Biology*. 2016;51(6):912-920. (*In Russ*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.912eng
2. О перспективности нанопрепаратов на основе сплавов микроэлементов-антагонистов (на примере Fe и Co) / Е.А. Сизова, С.А. Мирошников, С.В. Лебедев, А.В. Кудашева, Н.И. Рябов // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 4. С. 553-562. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.553rus [Sizova EA, Miroshnikov SA, Lebedev SV, Kudashava AV, Ryabov NI. To the development of innovative mineral additives based on alloy of Fe and Co antagonists as an example. *Agricultural Biology*. 2016;51(4):553-562. (*In Russ*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.553eng

3. Aspden TJ, Mason JDT, Jones NS et al. Chitosan as a nasal delivery system: the effect of chitosan solutions on in vitro and in vivo mucociliary transport rates in human turbinates and volunteers. *J Pharm Sci.* 1997;86(4):509-513. doi: 10.1021/js960182o
4. Bergin IL, Witzmann FA. Nanoparticle toxicity by the gastrointestinal route: evidence and knowledge gaps. *J Biomed Nanosci Nanotechnol.* 2013;3(1-2):163-210. doi: 10.1504/IJBNN.2013.054515
5. Choi KH, Namkung H, Paik IK. Effects of dietary fructooligosaccharides on the suppression of intestinal colonization of *Salmonella typhimurium* in broiler chickens. *Korean J Anim Sci.* 1994;36(3):271-284.
6. Chou TC, Fu E, Shen EC. Chitosan inhibits prostaglandin E2 formation and cyclooxygenase-2 induction in lipopolysaccharide-treated RAW 264.7 macrophages. *Biochemical and Biophysical Research Communication.* 2003;308(2):403-407. doi: 10.1016/s0006-291x(03)01407-4
7. Collier CT, Smiricky-Tjardes MR, Albin DM, Wubben JE, Gabert VM, Deplancke B, Bane D, Anderson DB, Gaskins HR. Molecular ecological analysis of porcine ileal microbiota responses to antimicrobial growth promoters. *J Anim Sci.* 2003;81(12):3035-3045. doi: 10.2527/2003.81123035x
8. El-Kassasa S, Abdob SE, El-Naggarc K, Abdod W, Kirrellae AAK, Nasharf TO. Ameliorative effect of dietary supplementation of copper oxide nanoparticles on inflammatory and immune responses in commercial broiler under normal and heat-stress housing conditions. *Journal of Thermal Biology.* 2018;78:235-246. doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.10.009
9. Fisinin VI, Miroschnikov SA, Sizova EA, Ushakov AS, Miroschnikova EP. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. *Worlds Poultry Science Journal.* 2018;74(3):523-540. doi: 10.1017/S0043933918000491
10. Huang RL, Yin YL, Wu GY, Zhang YG, Li TJ, Li LL, Li MX, Tang ZR, Zhang J, Wang B, He JH, Nie XZ. Effect of dietary oligochitosan supplementation on ileal digestibility of nutrients and performance in broilers. *Poultry Sci.* 2005;84(9):1383-1388. doi: 10.1093/ps/84.9.1383
11. Khambualai O, Yamauchi K, Tangtaweewipat T, Cheva-Isarakul B. Effects of dietary chitosan diets on growth performance in broiler chickens. *J Poultry Sci.* 2008;45(3):206-209. doi:10.2141/jpsa.45.206
12. Khambualai O, Yamauchi K, Tangtaweewipat T, Cheva-Isarakul B. Growth performance and intestinal histology in broiler chickens fed with dietary chitosan. *British Poultry Sci.* 2009;50(5):592-597. doi: 10.1080/00071660903247182
13. Lan R, Chang Q, Lu Y. Effects of chitosan oligosaccharides on meat quality, muscle energy metabolism and anti-oxidant status in broilers that have experienced transport stress. *Animal Production Science.* 2021;61(15):1625-1632. doi: 10.1071/AN20249
14. Le W, Ting-Ting L, Xi-Long W, Gui-Ping Y, Shi-Bin Y. Chitosan supplementation may improve the digestive physiology and health of captive *Leiothrix lutea*. *Avian Biol. Res.* 2015;8:221-226. doi: 10.3184/175815515X14424111706317
15. LeMieux FM, Southern LL, Bidner TD. Effects of mannan oligosaccharides on growth performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 2003;81(10):2482-2487. doi: 10.2527/2003.81102482x
16. Li J, Cheng Y, Chen Y, Qu H, Zhao Y, Wen C, Zhou Y. Dietary chitooligosaccharide inclusion as an alternative to antibiotics improves intestinal morphology, barrier function, antioxidant capacity, and immunity of broilers at early age. *Animals (Basel).* 2019;9(8):493. doi: 10.3390/ani9080493
17. Li XC, Ding XM, Peng X, Chi XF, Cui HM, Zuo ZC, Fang J. Effect of chitosan oligosaccharides on antioxidant function, lymphocyte cycle and apoptosis in ileum mucosa of broiler. *Kafkas Univ Vet Fak Derg.* 2017;23(4):571-577. doi: 10.9775/kvfd.2016.17329
18. Li XJ, Piao XS, Kim SW, Liu P, Wang L, Shen YB, Jung SC, Lee HS. Effects of chitooligosaccharide supplementation on performance, nutrient digestibility, and serum composition in broiler chickens. *Poult Sci.* 2007;86(6):1107-1114. doi: 10.1093/ps/86.6.1107
19. Liu W, Kong Y, Tu P, Lu J, Liu C, Liu W, Hanb J, Liu J. Physical-chemical stability and in vitro digestibility of hybrid nanoparticles based on the layer-by-layer assembly of lactoferrin and BSA on liposomes. *Food Funct.* 2017;8(4):1688-1697. doi: 10.1039/c7fo00308k

20. Logachev K, Karimov I, Duskaev G, Frolov A, Tulebaev S, Zav'yalov O. Study of intercellular interaction of ruminal microorganisms of beef cattle. *Asian J of Animal Sci.* 2015;9(5):248-253. doi: 10.3923/ajas.2015.248.253
21. Mao HQ, Troung-le VL, Janes KA et al. Chitosan-DNA nanoparticles as gene carriers: synthesis, characterization and transfection efficiency. *J Controlled Release.* 2001;70(3):399-421. doi: 10.1016/s0168-3659(00)00361-8
22. Miroshnikov S, Sizova E, Yausheva E, Uimin M, Konev A, Minin A, Yermakov A, Nikiyan H. Comparative toxicity of CuZn nanoparticles with different physical and chemical characteristics. *Oriental Journal Of Chemistry.* 2019;35(3):973-981. doi: 10.13005/ojc/350308
23. Miroshnikov SA, Yausheva EV, Sizova EA, Miroshnikova EP, Levahin VI. 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
24. Mohapatra P, Swain RK, Mishra SK, Behera T, Swain P, Nc B, Sahoo GR, Sethy K, Bhol BP, Dhama K. Effects of dietary nano-selenium supplementation on the performance of layer grower birds. *Asian J Anim Vet Adv.* 2014;9(10):641-652. doi: 10.3923/ajava.2014.641.652
25. Seferian PG, Martinez ML. Immune stimulating activity of two new chitosan containing adjuvant formulations. *Vaccine.* 2000;19(6):661-668. doi: 10.1016/s0264-410x(00)00248-6
26. Shi BL, Li DF, Piao XS, Yan SM. Effects of chitosan on growth performance and energy and protein utilisation in broiler chickens. *Br Poult Sci.* 2005;46(4):516-519. doi: 10.1080/00071660500190785
27. Swiatkiewicz S, Arczewska-Wlosek A, Jozefiak D. Feed enzymes, probiotic, or chitosan can improve the nutritional efficacy of broiler chicken diets containing a high level of distillers dried grains with solubles. *Livest Sci.* 2014;163:110-119. doi: 10.1016/j.livsci.2014.03.001
28. Wang C, Wang MQ, Ye SS, Tao WJ, Du YJ. Effects of copper-loaded chitosan nanoparticles on growth and immunity in broilers. *Poultry Science.* 2011;90(10):2223-2228. doi: 10.3382/ps.2011-01511
29. Wang XW, Du YG, Bai XF, Li SG. The effect of oligochitosan on broiler gut flora, microvilli density, immune function and growth performance. *Acta Zoonutr Sin.* 2003;15:32-45. doi: 10.5897/AJB11.1648
30. Yausheva E, Miroshnikov S, Sizova E. Intestinal microbiome of broiler chickens after use of nanoparticles and metal salts. *Environmental Science and Pollution Research.* 2018;25(18):18109-18120. doi: 10.1007/s11356-018-1991-5
31. Zhou T, Chen Y, Yoo J, Huang Y, Lee J, Jang H, Shin S, Kim H, Cho J, Kim I. Effects of chitoooligosaccharide supplementation on performance, blood characteristics, relative organ weight, and meat quality in broiler chickens. *Poult Sci.* 2009;88(3):593-600. doi: 10.3382/ps.2008-00285
32. Zou P, Yang X, Wang J, Li YF, Yu HL, Zhang YX, Liu GY. Advances in characterisation and biological activities of chitosan and chitosan oligosaccharides. *Food Chem.* 2016;190:1174-1181. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.06.076

References

1. Yausheva EV, Miroshnikov SA, Kosyan DB, Sizova EA. Nanoparticles in combination with amino acids change productive and immunological indicators of broiler chicken. *Agricultural Biology.* 2016;51(6):912-920. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.912eng
2. Sizova EA, Miroshnikov SA, Lebedev SV, Kudasheva AV, Ryabov NI. To the development of innovative mineral additives based on alloy of Fe and Co antagonists as an example. *Agricultural Biology.* 2016;51(4):553-562. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.553eng
3. Aspden TJ, Mason JDT, Jones NS et al. Chitosan as a nasal delivery system: the effect of chitosan solutions on in vitro and in vivo mucociliary transport rates in human turbinates and volunteers. *J Pharm Sci.* 1997;86(4):509-513. doi: 10.1021/js960182o
4. Bergin IL, Witzmann FA. Nanoparticle toxicity by the gastrointestinal route: evidence and knowledge gaps. *J Biomed Nanosci Nanotechnol.* 2013;3(1-2):163-210. doi: 10.1504/IJBNN.2013.054515

5. Choi KH, Namkung H, Paik IK. Effects of dietary fructooligosaccharides on the suppression of intestinal colonization of *Salmonella typhimurium* in broiler chickens. *Korean J Anim Sci.* 1994;36(3):271-284.
6. Chou TC, Fu E, Shen EC. Chitosan inhibits prostaglandin E2 formation and cyclooxygenase-2 induction in lipopolysaccharide-treated RAW 264.7 macrophages. *Biochemical and Biophysical Research Communication.* 2003;308(2):403-407. doi: 10.1016/s0006-291x(03)01407-4
7. Collier CT, Smiricky-Tjardes MR, Albin DM, Wubben JE, Gabert VM, Deplancke B, Bane D, Anderson DB, Gaskins HR. Molecular ecological analysis of porcine ileal microbiota responses to antimicrobial growth promoters. *J Anim Sci.* 2003;81(12):3035-3045. doi: 10.2527/2003.81123035x
8. El-Kassasa S, Abdob SE, El-Naggarc K, Abdod W, Kirrellae AAK, Nasharf TO. Ameliorative effect of dietary supplementation of copper oxide nanoparticles on inflammatory and immune responses in commercial broiler under normal and heat-stress housing conditions. *Journal of Thermal Biology.* 2018;78:235-246. doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.10.009
9. Fisinin VI, Miroschnikov SA, Sizova EA, Ushakov AS, Miroschnikova EP. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. *Worlds Poultry Science Journal.* 2018;74(3):523-540. doi: 10.1017/S0043933918000491
10. Huang RL, Yin YL, Wu GY, Zhang YG, Li TJ, Li LL, Li MX, Tang ZR, Zhang J, Wang B, He JH, Nie XZ. Effect of dietary oligochitosan supplementation on ileal digestibility of nutrients and performance in broilers. *Poultry Sci.* 2005;84(9):1383-1388. doi: 10.1093/ps/84.9.1383
11. Khambualai O, Yamauchi K, Tangtaweewipat T, Cheva-Isarakul B. Effects of dietary chitosan diets on growth performance in broiler chickens. *J Poultry Sci.* 2008;45(3):206-209. doi:10.2141/jpsa.45.206
12. Khambualai O, Yamauchi K, Tangtaweewipat T, Cheva-Isarakul B. Growth performance and intestinal histology in broiler chickens fed with dietary chitosan. *British Poultry Sci.* 2009;50(5):592-597. doi: 10.1080/00071660903247182
13. Lan R, Chang Q, Lu Y. Effects of chitosan oligosaccharides on meat quality, muscle energy metabolism and anti-oxidant status in broilers that have experienced transport stress. *Animal Production Science.* 2021;61(15):1625-1632. doi: 10.1071/AN20249
14. Le W, Ting-Ting L, Xi-Long W, Gui-Ping Y, Shi-Bin Y. Chitosan supplementation may improve the digestive physiology and health of captive *Leiothrix lutea*. *Avian Biol. Res.* 2015;8:221-226. doi: 10.3184/175815515X14424111706317
15. LeMieux FM, Southern LL, Bidner TD. Effects of mannan oligosaccharides on growth performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 2003;81(10):2482-2487. doi: 10.2527/2003.81102482x
16. Li J, Cheng Y, Chen Y, Qu H, Zhao Y, Wen C, Zhou Y. Dietary chitooligosaccharide inclusion as an alternative to antibiotics improves intestinal morphology, barrier function, antioxidant capacity, and immunity of broilers at early age. *Animals (Basel).* 2019;9(8):493. doi: 10.3390/ani9080493
17. Li XC, Ding XM, Peng X, Chi XF, Cui HM, Zuo ZC, Fang J. Effect of chitosan oligosaccharides on antioxidant function, lymphocyte cycle and apoptosis in ileum mucosa of broiler. *Kafkas Univ Vet Fak Derg.* 2017;23(4):571-577. doi: 10.9775/kvfd.2016.17329
18. Li XJ, Piao XS, Kim SW, Liu P, Wang L, Shen YB, Jung SC, Lee HS. Effects of chitooligosaccharide supplementation on performance, nutrient digestibility, and serum composition in broiler chickens. *Poult Sci.* 2007;86(6):1107-1114. doi: 10.1093/ps/86.6.1107
19. Liu W, Kong Y, Tu P, Lu J, Liu C, Liu W, Hanb J, Liu J. Physical-chemical stability and in vitro digestibility of hybrid nanoparticles based on the layer-by-layer assembly of lactoferrin and BSA on liposomes. *Food Funct.* 2017;8(4):1688-1697. doi: 10.1039/c7fo00308k
20. Logachev K, Karimov I, Duskaev G, Frolov A, Tulebaev S, Zav'yalov O. Study of intercellular interaction of ruminal microorganisms of beef cattle. *Asian J of Animal Sci.* 2015;9(5):248-253. doi: 10.3923/ajas.2015.248.253

21. Mao HQ, Troung-le VL, Janes KA et al. Chitosan-DNA nanoparticles as gene carriers: synthesis, characterization and transfection efficiency. *J Controlled Release*. 2001;70(3):399-421. doi: 10.1016/s0168-3659(00)00361-8
22. Miroshnikov S, Sizova E, Yausheva E, Uimin M, Konev A, Minin A, Yermakov A, Nikiyan H. Comparative toxicity of CuZn nanoparticles with different physical and chemical characteristics. *Oriental Journal Of Chemistry*. 2019;35(3):973-981. doi: 10.13005/ojc/350308
23. Miroshnikov SA, Yausheva EV, Sizova EA, Miroshnikova EP, Levahin VI. 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
24. Mohapatra P, Swain RK, Mishra SK, Behera T, Swain P, Nc B, Sahoo GR, Sethy K, Bhol BP, Dhama K. Effects of dietary nano-selenium supplementation on the performance of layer grower birds. *Asian J Anim Vet Adv*. 2014;9(10):641-652. doi: 10.3923/ajava.2014.641.652
25. Seferian PG, Martinez ML. Immune stimulating activity of two new chitosan containing adjuvant formulations. *Vaccine*. 2000;19(6):661-668. doi: 10.1016/s0264-410x(00)00248-6
26. Shi BL, Li DF, Piao XS, Yan SM. Effects of chitosan on growth performance and energy and protein utilisation in broiler chickens. *Br Poult Sci*. 2005;46(4):516-519. doi: 10.1080/00071660500190785
27. Swiatkiewicz S, Arczewska-Wlosek A, Jozefiak D. Feed enzymes, probiotic, or chitosan can improve the nutritional efficacy of broiler chicken diets containing a high level of distillers dried grains with solubles. *Livest Sci*. 2014;163:110-119. doi: 10.1016/j.livsci.2014.03.001
28. Wang C, Wang MQ, Ye SS, Tao WJ, Du YJ. Effects of copper-loaded chitosan nanoparticles on growth and immunity in broilers. *Poultry Science*. 2011;90(10):2223-2228. doi: 10.3382/ps.2011-01511
29. Wang XW, Du YG, Bai XF, Li SG. The effect of oligochitosan on broiler gut flora, microvilli density, immune function and growth performance. *Acta Zoonutr Sin*. 2003;15:32-45. doi: 10.5897/AJB11.1648
30. Yausheva E, Miroshnikov S, Sizova E. Intestinal microbiome of broiler chickens after use of nanoparticles and metal salts. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(18):18109-18120. doi: 10.1007/s11356-018-1991-5
31. Zhou T, Chen Y, Yoo J, Huang Y, Lee J, Jang H, Shin S, Kim H, Cho J, Kim I. Effects of chitoooligosaccharide supplementation on performance, blood characteristics, relative organ weight, and meat quality in broiler chickens. *Poult Sci*. 2009;88(3):593-600. doi: 10.3382/ps.2008-00285
32. Zou P, Yang X, Wang J, Li YF, Yu HL, Zhang YX, Liu GY. Advances in characterisation and biological activities of chitosan and chitosan oligosaccharides. *Food Chem*. 2016;190:1174-1181. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.06.076

Информация об авторах:

Анастасия Павловна Иванищева, аспирант 2 года обучения, техник-специалист ЦКП «Испытательный центр», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29, тел.: 8-987-843-58-22.

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, тел.: 8-912-344-99-07.

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.

Information about the authors:

Anastasia P Ivanischeva, postgraduate student of 2 years of study, technician-specialist of the Center for Collective Use "Testing Center", Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvary St., Orenburg, 460000, tel.: 8-987-843-58-22.

Elena A Sizova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Center for Nanotechnology in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-912-344-99-07.

Ksenia S Nechitailo, Researcher of the Center for Nanotechnology in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Статья поступила в редакцию 09.11.2021; одобрена после рецензирования 09.11.2021; принята к публикации 13.12.2021.

The article was submitted 09.11.2021; approved after reviewing 09.11.2021; accepted for publication 13.12.2021.