

Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104, № 4. С. 148-157.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2021. Vol. 104, no 4. P. 148-157.

Научная статья

УДК 636.5:636.084.5

doi:10.33284/2658-3135-104-4-148

Влияние мультиэнзимной кормовой добавки на продуктивные показатели, переваримость и химический состав тела цыплят-бройлеров

Ксения Сергеевна Нечитайло¹, Елена Анатольевна Сизова²

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

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

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

Аннотация. Общей чертой зерновых является высокое содержание некрахмалистых полисахаридов, проявляющие антипитательный эффект за счёт увеличения вязкости кишечного содержимого и снижения абсорбции питательных нутриентов. К тому же у бройлеров отсутствуют эндогенные ферменты, необходимые для переваривания некрахмалистых полисахаридов, поэтому эффективность переваривания корма снижается даже при полноценном рационе. В связи с этим целью исследований явилась оценка влияния мультиэнзимной кормовой добавки на продуктивные показатели, переваримость и химический состав тела цыплят-бройлеров. При использовании в рационе цыплят-бройлеров мультиэнзимной кормовой добавки происходит увеличение коэффициентов переваримости сырого протеина, сырой клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ за счёт высвобождения инкапсулированных нутриентов рациона. Использование мультиэнзимной кормовой добавки позволяет снижать затраты корма на 1 кг прироста живой массы и в целом повышать эффективность выращивания, что подчеркивает перспективность применения исследуемого препарата при выращивании цыплят-бройлеров.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, мультиэнзимные препараты, продуктивность, некрахмалистые полисахариды

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 20-16-00078.

Для цитирования: Нечитайло К.С., Сизова Е.А. Влияние мультиэнзимной кормовой добавки на продуктивные показатели, переваримость и химический состав тела цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104, № 4. С. 148-157. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-148>

Original article

Effect of a multi-enzyme feed additive on productivity, digestibility and body chemistry of broiler chickens

Ksenia S Nechitailo¹, Elena A Sizova²

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

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

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

Abstract. A common feature of cereals is a high content of non-starchy polysaccharides, which exhibit an anti-nutritional effect by increasing the viscosity of intestinal contents and reducing the absorption of nutrients. In addition, broilers lack the endogenous enzymes necessary to digest non-starchy polysaccharides, so the efficiency of feed digestion is reduced even at a full diet. In this regard, the aim of the research

was to assess the effect of a multi-enzyme feed additive on productivity, digestibility and body chemical composition of broiler chickens. When a multi-enzyme feed additive is used in broiler chicken diet, the digestibility coefficients of crude protein, crude fiber and nitrogen-free extractives increase due to the release of encapsulated dietary nutrients. The use of a multi-enzyme feed additive allows to reduce feed costs per 1 kg of live weight gain and, in general, to increase the efficiency of growing, which emphasizes the prospects of using the study drug when growing broiler chickens.

Keywords: broiler chickens, feeding, multi-enzyme preparations, productivity, non-starchy polysaccharides

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project № 20-16-00078.

For citation: Nechitailo KS, Sizova EA. Effect of a multi-enzyme feed additive on productivity, digestibility and body chemistry of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):148-157. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-148>

Введение.

Поскольку цена кормовых ингредиентов определяет конечную стоимость продукции птицеводства, являются актуальным вопросы оптимизации кормления цыплят-бройлеров (Babaei MJ et al., 2021). Традиционно основу рациона (55-75 %) цыплят-бройлеров составляют зерновые корма (ВНИТИП, 2009). Зерно различных злаковых культур представляет собой сложную структуру и клеточные стенки, различающиеся по составу и свойствам (Tejeda JO and Kim WK, 2021). Общей чертой зерновых является высокое содержание некрахмалистых полисахаридов (НКП) (Angel R and Sorbara JO, 2014), при этом преобладающими полимерами являются арабиноксиланы, β -глюкан, целлюлоза и лигнин (Slominski BA, 2011). НКП проявляют антипитательный эффект за счёт увеличения вязкости кишечного содержимого и снижения абсорбции питательных нутриентов (Tiwari UP et al., 2018). У бройлеров отсутствуют эндогенные ферменты, необходимые для переваривания НКП, поэтому эффективность переваривания корма снижается даже при полноценном рационе (Singh AK et al., 2019). Разрушение матрикса клеточной стенки растений путём гидролиза недоступных углеводов позволяет другим экзогенным и эндогенным ферментам получать доступ к белкам и крахмалу (Masey-O'Neill HV et al., 2014).

Комбинированное использование экзогенных ферментов, таких как амилаза, ксиланаза и протеаза показало аддитивные эффекты у животных (Amerah AM et al., 2017). Экзогенные протеаза и амилаза часто дополняются ксиланазой, которые не только улучшают переваривание белка в верхних отделах желудочно-кишечного тракта бройлеров, но также увеличивают переваривание инкапсулированного в эндосперме крахмала (Singh AK et al., 2019).

Несмотря на обилие доступной информации о влиянии ферментных добавок на организм цыплят-бройлеров (Slominski BA, 2011; Kaczmarek SA et al., 2014; Giacobbo FCN et al., 2021), существует ограниченное понимание комплексного действия ферментов различной активности на эффективность выращивания бройлеров.

Цель исследования.

Оценить влияние мультиэнзимной кормовой добавки на продуктивные показатели, переваримость и химический состав тела цыплят-бройлеров

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса Арбор Айкрес в возрасте 7 суток (n=20).

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. Эксперимент был проведён в 2020 г. в условиях вивария ФНЦ БСТ РАН, методом групп-аналогов сформированы две группы (n=10): контрольная и опытная. Цыплятам контрольной группы скармливали основной рацион, сформированный в соответствии с нормами ВНИТИП (2015). Цыплятам опытной группы к основному рациону добавляли мультиэнзимную кормовую добавку (МЭД) Акстра ХАР 102 ТРТ (ООО «Данзим», Россия) в дозе 0,5 мг/кг корма (рекомендация производителя). В её состав входят: эндо-1,4-бета-ксилаза (4000 ед./г), альфа-амилаза (400 ед./г), субтилизин (8000 ед./г) и продуценты *Bacillus subtilis*, *Trichoderma reesei* и *Bacillus licheniformis*. В составе премикса исследуемых групп отсутствовали кормовые антибиотики.

Во время исследований вся птица находилась в идентичных условиях выращивания и кормления. Основу рациона составляли кукуруза, пшеница и ячмень. 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 помета, производили расчёт потери веществ с установлением усвоенного количества корма.

Оборудование и технические средства. Исследования были проведены на базе центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» с использованием материально-технических средств Центра коллективного пользования биологических систем и агротехнологий РАН (ЦКП ФНЦ БСТ РАН) (<https://ckp-rf.ru/ckp/77384/>). Определение физико-химического состава помёта, кормов и тканей тела бройлеров выполняли в соответствии со стандартизированными методиками: ГОСТ 31640-2012, ГОСТ 32044.1.2012, ГОСТ 13496.15-97, ГОСТ 51479-99, ГОСТ 23042-86, ГОСТ 25011-81, ГОСТ Р 53642-2009.

Статистическая обработка. Статистический анализ данных выполнен с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 12.0» («Stat Soft Inc.», 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 исследований выявлено, что применение МЭД стимулирует прирост живой массы на протяжении всего экспериментального периода. В опытной группе к концу эксперимента разница по живой массе с группой контроля составила 12,86 % ($P \leq 0,05$). При этом абсолютный среднесуточный прирост в опытной группе имел значение $56,29 \pm 1,81$ г против контрольных $48,86 \pm 1,44$ г. Об эффективности применения исследуемой добавки свидетельствует также снижение затрат корма на 1 кг прироста живой массы, так в данной группе показатель был снижен на 7,3 % относительно контроля.

Коэффициент переваримости отражает количественное соотношение нутриентов, поступивших в организм птицы вместе с кормом. При оценке коэффициентов переваримости отдельных веществ корма установлено изменение ряда показателей относительно контрольных значений (рис. 1). Так, в опытной группе было выявлено повышение коэффициентов переваримости сырого протеина, сырой клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) на 7,6 % ($P \leq 0,05$), 16,9 % ($P \leq 0,01$) и 3,1 % ($P \leq 0,01$) соответственно относительно группы контроля.

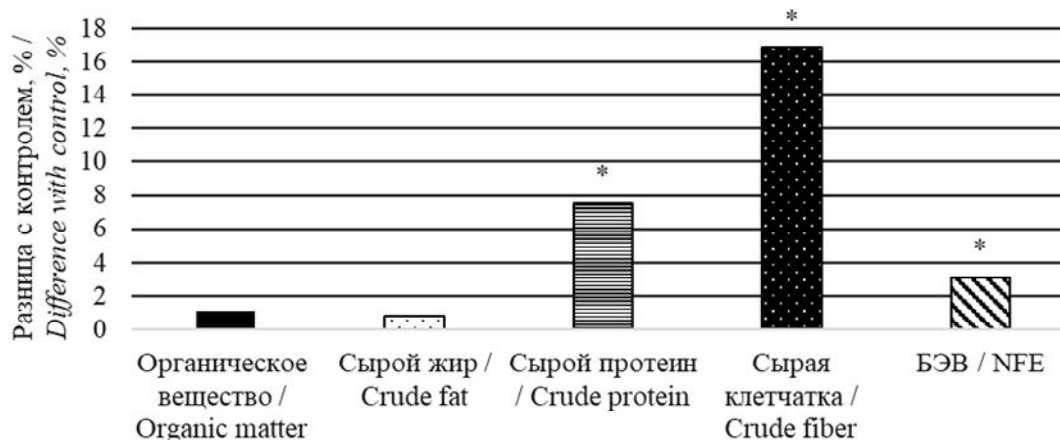


Рис. 1 – Разница коэффициентов переваримости отдельных компонентов рациона цыплятами-бройлерами опытной группы по сравнению с контролем, (возраст – 42 суток, n=10, опыт в условиях вивария)

Figure 1 – Difference in digestibility coefficients of individual components of diet by broiler chickens in the experimental group compared to control (age – 42 days, n=10, experiment in a vivarium)

Примечание: * – $P \leq 0,05$ при сравнении контрольной и опытных групп

Note: * – $P \leq 0.05$ comparing the control and experimental groups

Таким образом, при использовании в рационе цыплят-бройлеров МЭД происходит изменение массы тела и увеличение коэффициентов переваримости сырого протеина, сырой клетчатки и БЭВ за счёт высвобождения инкапсулированных нутриентов в рационе.

Анализируя химический состав тела цыплят-бройлеров, установлено увеличение содержания протеина в опытной группе на 3,03 % ($P \leq 0,05$) в сравнении с контролем. При этом на уровне тенденции прослеживалось увеличение содержания сухого вещества и жира в теле бройлеров (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав тела цыплят-бройлеров, % (возраст – 42 суток, n=10, опыт в условиях вивария)

Table 1. The chemical composition of body of broiler chickens, % (age – 42 days, n=10, experiment in a vivarium)

Показатель / Index	Группа / Group	
	контрольная / Control	опытная / Experimental
Сухое вещество / Dry matter	26,7±0,49	28,9±0,86
Протеин / Protein	16,9±0,12	17,4±0,09*
Жир / Fat	7,9±0,75	9,4±0,80
Зола / Ash	2,5±0,08	2,3±0,02

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

Note: * – $P \leq 0.05$ compared with the control group

Оценивая содержание энергии в сухом веществе тела бройлеров, можно отметить, увеличение данного показателя в опытной группе на 1,49 % ($P \leq 0,05$) по отношению к контрольным значениям.

Анализируя абсолютное содержание химических веществ в отдельных биосубстратах отметим ряд изменений по отношению к контрольной группе (табл. 2). Так, содержание протеина в мышцах в опытной группе было выше на 22,87 % ($P \leq 0,05$) в сравнение с контролем. Также в мышечной ткани опытной группы установлено увеличение содержания жира на 14,03 % ($P \leq 0,05$).

Уровень протеина был выше на 13,3 % ($P \leq 0,05$), уровень жира – на 26,3 % ($P \leq 0,05$) в коже бройлеров опытной группы в сравнении с контролем.

Во внутренних органах опытной группы наблюдалось незначительное увеличение содержания жира и снижение протеина.

Таблица 2 – Содержание химических веществ отдельных тканей и органов подопыной птицы, г/гол. (возраст – 42 суток, n=10, опыт в условиях вивария)
 Table 2 – The content of chemicals in individual tissues and organs of the experimental bird, g/bird (age – 42 days, n=10, experiment in a vivarium)

Группа / <i>Group</i>	Показатель / <i>Index</i>				
	сухое вещество / <i>Dry matter</i>	протеин / <i>Protein</i>	жир / <i>Fat</i>	энергия, мДж / <i>Energy, MJ</i>	концентрация энергии, % / <i>Concentration of energy, %</i>
Мякоть туши / <i>Carcass muscle tissue</i>					
Контрольная / <i>Control</i>	200,3±24,45	161,1±20,13	44,9±7,41	5,3±0,77	27,1±0,05
Опытная / <i>Experimental</i>	257,4±8,99*	197,9±6,49*	51,2±4,04*	6,8±0,26	26,3±0,18
Кожа / <i>Skin</i>					
Контрольная / <i>Control</i>	74,1±11,88	21,8±2,89	51,6±9,90	2,6±0,46	34,5±0,69
Опытная / <i>Experimental</i>	89,8±4,93	24,7±3,09 *	65,2±4,91*	3,2±0,15	35,5±0,38
Внутренние органы / <i>Internal organs</i>					
Контрольная / <i>Control</i>	39,4±5,19	24,1±1,54	13,9±3,20	1,1±0,21	28,6±0,35
Опытная / <i>Experimental</i>	39,1±1,99	20,2±1,51	14,8±3,02	1,2±0,09	30,4±0,96

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

Note: * – $P \leq 0.05$ compared with the control group

Таким образом, введение МЭ в рацион цыплят-бройлеров сопровождается увеличением уровня протеина в теле, протеина и жира – в мышечном субстрате. При этом введение МЭД сопровождается отложением протеина и жира в коже бройлеров.

Обсуждение полученных результатов.

В исследовании основу рациона составляли кукуруза, пшеница и ячмень. Пшеница содержит большое количество высокомолекулярных арабиноксиланов (7,3 % от сухого вещества), ячмень – β-глюканы с высоким соотношением β (1-3)-β (1-4) связей (Knudsen КЕВ, 2014). При совместном скормливании данных культур кишечное содержимое приобретает гелеобразное состояние, тем самым снижая усвояемость и доступность питательных веществ (Slominski ВА, 2011). В свою очередь кукуруза содержит 1 г/кг растворимого арабиноксилана и 51 г/кг нерастворимого арабиноксилана, являющегося основным компонентом клеточной стенки эндосперма (Taylor JRN et al., 2013). Эндогенные ферменты, экскретируемые бройлерами, не способны деградировать клетчатку, незначительно распадающуюся в желудочно-кишечном тракте, и введение комбинации экзогенных ферментов предотвращает указанные отрицательные эффекты (Knudsen КЕ, 2014; Ward NE, 2021).

Так, в ходе анализа в опытной группе выявлено увеличение коэффициентов переваримости сырого протеина ($P \leq 0,05$), сырой клетчатки ($P \leq 0,05$) и БЭВ ($P \leq 0,05$) под действием МЭД. Вероятно, данные изменения опосредованы несколькими механизмами действия МЭД.

Первый механизм связан с прямым воздействием ферментов МЭД на субстраты. Наличие нерастворимых НКП в компонентах рациона, определяет повышение вязкости в тонком кишечнике. В результате эндогенные пищеварительные ферменты не способны к полному субстратному взаимодействию, и как итог наблюдается снижение переваримости питательных компонентов (Liu WC and Kim IH, 2017). Ксиланаза предотвращает данный эффект, увеличивая доступ ферментов за счёт разрушения сильно разветвлённых нерастворимых арабиноксиланов клеточной стенки (Masey-O'Neill HV et al., 2014). Помимо этого, результатом действия ксиланазы является появление ксило-олигосахаридов, которые ферментируются до летучих жирных кислот в слепой кишке, оказывая влияние на процесс пищеварения и абсорбцию в тонком кишечнике за счёт синтеза пептида YY (Zhang L et al., 2014). Экзогенная ксиланаза, разрушая клеточную стенку эндосперма, увеличивает доступ экзо- и эндогенной амилазы к крахмалу, увеличивая переваримость данного субстрата (Rama Rao SV et al., 2021). Протеаза улучшает перевариваемость белка и всасывание аминокислот (Angel CR et al., 2011). Поскольку зерновой крахмал заключён в белковый матрикс, протеаза также оказывает косвенное влияние на переваримость крахмала (Svihus B et al., 2005).

Кроме этого, цыплята-бройлеры в возрасте до 21 суток имеют сниженную активность пищеварительных ферментов (Giacobbo FCN et al., 2021), таким образом, введение экзогенных ферментов в рацион в начальный период может компенсировать низкую секрецию эндогенных ферментов, способствуя процессу пищеварения и увеличивая доступность питательных веществ, улучшая показатели роста животных (Zhu HL et al., 2014). В исследованиях Zou с коллегами (2013) установлено увеличение активности эндогенных ферментов (трипсин и химотрипсин) у 21- и 42-дневных бройлеров под влиянием комплекса экзогенных ферментов (β -маннаназа, α -галактозидаза и ксиланаза+ β -глюканаза). Учитывая тот факт, что в наших исследованиях участвовали цыплята-бройлеры с 7 суток до 42, можно предположить, что один из возможных эффектов введения МЭД – воздействие на активность непосредственно эндогенных ферментов.

Вводимая добавка не влияла на переваримость сырого жира, что согласуется с результатами других исследователей (Romero et al., 2014; Amerah et al., 2017). Продукты гидролиза НКП ферментируются резидентной микрофлорой в короткоцепочечные жирные кислоты, МЭД высвобождает часть крахмала и белка, таким образом, увеличивается использование энергии (Kaczmarek SA et al., 2014). Что впоследствии отражается отложением протеина и жира как в теле, так и в отдельных биосубстратах бройлеров (Fouad AM and El-Senousey HK, 2014).

Увеличивая доступность питательных нутриентов, МЭД стимулирует активность биохимических реакций в сторону анаболизма, тем самым способствуя наращиванию мышечной массы (Attia YA et al., 2012).

Таким образом, МЭД, компенсируя отрицательные эффекты НКП, способствует высвобождению инкапсулированных нутриентов, тем самым запуская каскад реакций, приводящих к повышению метаболической энергии корма и, как следствие, продуктивности. Что подтверждается экспериментально увеличением конверсии корма и прироста живой массы цыплят-бройлеров опытной группы по сравнению с контролем при одинаковом рационе и содержании обменной энергии. В опытной группе наблюдались более высокие значения абсолютного среднесуточного прироста ($P \leq 0,05$) и снижение затрат корма на 1 кг прироста.

Заключение.

Таким образом, при использовании в рационе цыплят-бройлеров МЭД происходит увеличение коэффициентов переваримости сырого протеина, сырой клетчатки и БЭВ за счёт высвобождения инкапсулированных нутриентов рациона. Использование МЭД позволяет снижать затраты корма на 1 кг прироста живой массы и в целом повышать эффективность выращивания, что говорит о перспективности применения исследуемых добавок при выращивании цыплят-бройлеров.

Список источников

1. Научные основы кормления сельскохозяйственной птицы: монография / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Т.М. Околелова, Ш.А. Имангулов. Сергиев Посад: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, 2009. 352 с. [Nauchnye osnovy kormleniya sel'skokhozyaistvennoi ptitsy: monografiya. Fisinin VI, Egorov IA, Okolelova TM, Imangulov ShA. Serгиеv Posad: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii i tekhnologicheskii institut ptitsevodstva; 2009:352 p. (In Russ)].
2. Amerah AM, Romero LF, Awati A, Ravindran V. Effect of exogenous xylanase, amylase, and protease as single or combined activities on nutrient digestibility and growth performance of broilers fed corn/soy diets. *Poult Sci.* 2017;96(4):807-816. doi: 10.3382/ps/pew297
3. Angel CR, Saylor W, Vieira SL, Ward N. Effects of a monocomponent protease on performance and protein utilization in 7- to 22-day-old broiler chickens. *Poult Sci.* 2011;90(10):2281-2286. doi: 10.3382/ps.2011-01482
4. Angel R, Sorbara JO. Why is it important to understand substrates if we are to optimize exogenous enzyme efficacy? *Poult Sci.* 2014;93(9):2375-2379. doi: 10.3382/ps.2013-03869
5. Attia YA, El-Tahawy WS, Abd El-Hamid EAEH, Hassan SS, Nizza A, El-Kelaway MI. Effect of phytase with or without multienzyme supplementation on performance and nutrient digestibility of young broiler chicks fed mash or crumble diets. *Ital J Anim Sci.* 2012;11(3):e56. doi: 10.4081/ijas.2012.e56
6. Babaei MJ, Fakhraei J, Mansoori Yarahmadi H, Gomarian M. Effect of different levels of bio-plex manganese along with probiotics and multi-enzymes on performance and immune system indices of broilers. *Vet Med Sci.* 2021;7(4):1379-1390. doi: 10.1002/vms3.479
7. Fouad AM, El-Senousey HK. Nutritional factors affecting abdominal fat deposition in poultry: a review. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2014;27(7):1057-1068. doi: 10.5713/ajas.2013.13702
8. Giacobbo FCN, Eyng C, Nunes RV, de Souza C, Teixeira LV, Pilla R, Suchodolski JS, Bortoluzzi C. Different enzymatic associations in diets of broiler chickens formulated with corn dried at various temperatures. *Poult Sci.* 2021;100(5):101013. doi: 10.1016/j.psj.2021.01.035
9. Kaczmarek SA, Rogiewicz A, Mogielnicka M, Rutkowski A, Jones RO, Slominski BA. The effect of protease, amylase, and nonstarch polysaccharide-degrading enzyme supplementation on nutrient utilization and growth performance of broiler chickens fed corn-soybean meal-based diets. *Poult Sci.* 2014;93(7):1745-1753. doi: 10.3382/ps.2013-03739
10. Knudsen KEB. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poult Sci.* 2014;93(9):2380-2393. doi: 10.3382/ps.2014-03902
11. Liu WC, Kim IH. Effects of dietary xylanase supplementation on performance and functional digestive parameters in broilers fed wheat-based diets. *Poult Sci.* 2017;96(3):566-573. doi: 10.3382/ps/pew258
12. Masey-O'Neill HV, Singh M, Cowieson AJ. Effects of exogenous xylanase on performance, nutrient digestibility, volatile fatty acid production and digestive tract thermal profiles of broilers fed on wheat- or maize-based diet. *Br Poult Sci.* 2014;55(3):351-359. doi: 10.1080/00071668.2014.898836
13. Rama Rao SV, Raju MVLN, Nagalakshmi D, Prakash B, Paul SS. Effect of supplementation of graded concentrations of xylanase and α -amylase on performance, slaughter variables, and energy digestibility in broiler chickens fed corn-soybean meal-based diet. *Journal of Applied Poultry Research.* 2021;30(2):100139. doi: 10.1016/j.japr.2021.100139
14. Romero LF, Sands JS, Indrakumar SE, Plumstead PW, Dalsgaard S, Ravindran V. Contribution of protein, starch, and fat to the apparent ileal digestible energy of corn- and wheat-based broiler diets in response to exogenous xylanase and amylase without or with protease. *Poult Sci.* 2014;93(10):2501-2513. doi: 10.3382/ps.2013-03789
15. Singh AK, Tiwari UP, Berrococo 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
16. Slominski BA. Recent advances in research on enzymes for poultry diets. *Poult Sci.* 2011;90(9):2013-2023. doi: 10.3382/ps.2011-01372
16. Svihus B, Uhlen AK, Harstad OM. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Anim Feed Sci. Technol.* 2005;122(3-4):303-320. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2005.02.025
17. Taylor JRN, Dlamini BC, Kruger J. 125th anniversary review: The science of the tropical cereals sorghum, maize and rice in relation to lager beer brewing. *J Inst Brew.* 2013;119(1-2):1-14. doi: 10.1002/jib.68
18. Tejada JO, Kim WK. Role of dietary fiber in poultry nutrition. *Animals (Basel).* 2021;11(2):461. doi: 10.3390/ani11020461
19. Tiwari UP, Chen H, Kim SW, Jha R. Supplemental effect of xylanase and mannanase on nutrient digestibility and gut health of nursery pigs studied using both in vivo and in vitro models. *Animal Feed Science and Technology.* 2018;245:77-90. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.07.002
20. Ward NE. Debranching enzymes in corn/soybean meal-based poultry feeds: a review. *Poult Sci.* 2021;100(2):765-775. doi: 10.1016/j.psj.2020.10.074
21. Zhang L, Xu J, Lei L, Jiang Y, Gao F, Zhou GH. Effects of xylanase supplementation on growth performance, nutrient digestibility and non-starch polysaccharide degradation in different sections of the gastrointestinal tract of broilers fed wheat-based diets. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2014;27(6):855-861. doi: 10.5713/ajas.2014.14006
22. Zhu HL, Hu LL, Hou YQ, Zhang J, Ding BY. The effects of enzyme supplementation on performance and digestive parameters of broilers fed corn-soybean diets. *Poult Sci.* 2014;93(7):1704-1712. doi: 10.3382/ps.2013-03626
23. Zou J, Zheng P, Zhang K, Ding X, Bai S. Effects of exogenous enzymes and dietary energy on performance and digestive physiology of broilers. *Journal of Animal Science and Biotechnology.* 2013;4(1):14. doi: 10.1186/2049-1891-4-14

References

1. Fisinin VI, Egorov IA, Okolelova TM, Imangulov ShA. Scientific foundations of poultry feeding: monograph. Sergiev Posad: All-Russian Research and Technological Institute of Poultry, 2009; 352 p.
2. Amerah AM, Romero LF, Awati A, Ravindran V. Effect of exogenous xylanase, amylase, and protease as single or combined activities on nutrient digestibility and growth performance of broilers fed corn/soy diets. *Poult Sci.* 2017;96(4):807-816. doi: 10.3382/ps/pew297
3. Angel CR, Saylor W, Vieira SL, Ward N. Effects of a monocomponent protease on performance and protein utilization in 7- to 22-day-old broiler chickens. *Poult Sci.* 2011;90(10):2281-2286. doi: 10.3382/ps.2011-01482
4. Angel R, Sorbara JO. Why is it important to understand substrates if we are to optimize exogenous enzyme efficacy? *Poult Sci.* 2014;93(9):2375-2379. doi: 10.3382/ps.2013-03869
5. Attia YA, El-Tahawy WS, Abd El-Hamid EAEH, Hassan SS, Nizza A, El-Kelaway MI. Effect of phytase with or without multienzyme supplementation on performance and nutrient digestibility of young broiler chicks fed mash or crumble diets. *Ital J Anim Sci.* 2012;11(3):e56. doi: 10.4081/ijas.2012.e56
6. Babaei MJ, Fakhraei J, Mansoori Yarahmadi H, Gomarian M. Effect of different levels of bio-plex manganese along with probiotics and multi-enzymes on performance and immune system indices of broilers. *Vet Med Sci.* 2021;7(4):1379-1390. doi: 10.1002/vms3.479
7. Fouad AM, El-Senousey HK. Nutritional factors affecting abdominal fat deposition in poultry: a review. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2014;27(7):1057-1068. doi: 10.5713/ajas.2013.13702

8. Giacobbo FCN, Eyng C, Nunes RV, de Souza C, Teixeira LV, Pilla R, Suchodolski JS, Bortoluzzi C. Different enzymatic associations in diets of broiler chickens formulated with corn dried at various temperatures. *Poult Sci.* 2021;100(5):101013. doi: 10.1016/j.psj.2021.01.035
9. Kaczmarek SA, Rogiewicz A, Mogielnicka M, Rutkowski A, Jones RO, Slominski BA. The effect of protease, amylase, and nonstarch polysaccharide-degrading enzyme supplementation on nutrient utilization and growth performance of broiler chickens fed corn-soybean meal-based diets. *Poult Sci.* 2014;93(7):1745-1753. doi: 10.3382/ps.2013-03739
10. Knudsen KEB. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poult Sci.* 2014;93(9):2380-2393. doi: 10.3382/ps.2014-03902
11. Liu WC, Kim IH. Effects of dietary xylanase supplementation on performance and functional digestive parameters in broilers fed wheat-based diets. *Poult Sci.* 2017;96(3):566-573. doi: 10.3382/ps/pew258
12. Masey-O'Neill HV, Singh M, Cowieson AJ. Effects of exogenous xylanase on performance, nutrient digestibility, volatile fatty acid production and digestive tract thermal profiles of broilers fed on wheat- or maize-based diet. *Br Poult Sci.* 2014;55(3):351-359. doi: 10.1080/00071668.2014.898836
13. Rama Rao SV, Raju MVLN, Nagalakshmi D, Prakash B, Paul SS. Effect of supplementation of graded concentrations of xylanase and α -amylase on performance, slaughter variables, and energy digestibility in broiler chickens fed corn-soybean meal-based diet. *Journal of Applied Poultry Research.* 2021;30(2):100139. doi: 10.1016/j.japr.2021.100139
14. Romero LF, Sands JS, Indrakumar SE, Plumstead PW, Dalsgaard S, Ravindran V. Contribution of protein, starch, and fat to the apparent ileal digestible energy of corn- and wheat-based broiler diets in response to exogenous xylanase and amylase without or with protease. *Poult Sci.* 2014;93(10):2501-2513. doi: 10.3382/ps.2013-03789
15. Singh AK, Tiwari UP, Berrococo 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
16. Slominski BA. Recent advances in research on enzymes for poultry diets. *Poult Sci.* 2011;90(9):2013-2023. doi: 10.3382/ps.2011-01372
16. Svihus B, Uhlen AK, Harstad OM. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Anim Feed Sci. Technol.* 2005;122(3-4):303-320. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2005.02.025
17. Taylor JRN, Dlamini BC, Kruger J. 125th anniversary review: The science of the tropical cereals sorghum, maize and rice in relation to lager beer brewing. *J Inst Brew.* 2013;119(1-2):1-14. doi: 10.1002/jib.68
18. Tejada JO, Kim WK. Role of dietary fiber in poultry nutrition. *Animals (Basel).* 2021;11(2):461. doi: 10.3390/ani11020461
19. Tiwari UP, Chen H, Kim SW, Jha R. Supplemental effect of xylanase and mannanase on nutrient digestibility and gut health of nursery pigs studied using both in vivo and in vitro models. *Animal Feed Science and Technology.* 2018;245:77-90. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.07.002
20. Ward NE. Debranching enzymes in corn/soybean meal-based poultry feeds: a review. *Poult Sci.* 2021;100(2):765-775. doi: 10.1016/j.psj.2020.10.074
21. Zhang L, Xu J, Lei L, Jiang Y, Gao F, Zhou GH. Effects of xylanase supplementation on growth performance, nutrient digestibility and non-starch polysaccharide degradation in different sections of the gastrointestinal tract of broilers fed wheat-based diets. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2014;27(6):855-861. doi: 10.5713/ajas.2014.14006
22. Zhu HL, Hu LL, Hou YQ, Zhang J, Ding BY. The effects of enzyme supplementation on performance and digestive parameters of broilers fed corn-soybean diets. *Poult Sci.* 2014;93(7):1704-1712. doi: 10.3382/ps.2013-03626

23. Zou J, Zheng P, Zhang K, Ding X, Bai S. Effects of exogenous enzymes and dietary energy on performance and digestive physiology of broilers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2013;4(1):14. doi: 10.1186/2049-1891-4-14

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, тел.: 8-912-344-99-07.

Information about the authors:

Ksenia S Nechitailo, Researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvaryaya St., Orenburg, 460000.

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 Yanvaryaya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-912-344-99-07.

Статья поступила в редакцию 10.11.2021; одобрена после рецензирования 10.11.2021; принята к публикации 13.12.2021.

The article was submitted 10.11.2021; approved after reviewing 10.11.2021; accepted for publication 13.12.2021.