

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-2-167-175
УДК 633.14:631.52

Обзорная статья / Review article

Влияние физических характеристик зернового сырья на функциональную ценность кормов для птиц

В.И. Полонский¹, А.В. Сумина² ✉

¹Красноярский государственный аграрный университет,
г. Красноярск, Российская Федерация

²Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,
г. Абакан, Российская Федерация
✉ alenasumina@list.ru

Аннотация. Целью настоящего исследования является анализ зарубежной научной литературы, посвященный влиянию физических характеристик зернового сырья на функциональную ценность получаемых на его основе кормов для птиц. Рассмотрены роль размера частиц зернового корма и его формы в обеспечении оптимального развития и функционирования желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и повышения продуктивности птиц. Результаты исследований показали, что использование корма крупного помола не только сопровождается увеличением относительной массы желудка у бройлеров по сравнению с кормлением более мелкими частицами, но и усилением ферментативного расщепления корма в ЖКТ и улучшением усвояемости содержащихся в нем питательных веществ. Обнаружено, что с повышением уровня включения грубой кукурузы в рацион количество полезных бактерий *Lactobacillus spp.* и *Bifidobacteria spp.* в ЖКТ увеличивалось, а количество условно патогенных микроорганизмов уменьшалось. У птиц, получающих гранулированный корм, найдено недостаточное развитие желудка, что обусловлено, главным образом, отсутствием его механической стимуляции. Предполагается, что с целью улучшения функции желудка и здоровья птиц целесообразно ввести в их рацион источник пищевых волокон. Показано, что добавление от 2 до 3 % нерастворимого источника клетчатки в обычные рационы молодых цыплят на основе высокобелковой соевой муки и кукурузы может улучшить развитие их пищеварительного тракта и ростовые показатели.

Ключевые слова: птицы, зерновой корм, размер частиц, форма корма, гранулирование, желудочно-кишечный тракт, численность микроорганизмов

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: Поступила в редакцию: 24 февраля 2021 г. Принята к публикации: 11 мая 2021 г.

Для цитирования: Полонский В.И., Сумина А.В. Влияние физических характеристик зернового сырья на функциональную ценность кормов для птиц // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2021. Т. 16. № 2. С. 167—175. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-167-175

© Полонский В.И., Сумина А.В., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Influence of grain physical characteristics on functional value of poultry feed

Vadim I. Polonskiy¹, Alena V. Sumina² ✉

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, *Krasnoyarsk, Russian Federation*

²Katanov Khakass State University, *Abakan, Russian Federation*

✉ *Corresponding author: alenasumina@list.ru*

Abstract. The purpose of this investigation was to analyze the scientific literature concerning the influence of grain physical characteristics on functional value of poultry feed. The review considers the role of grain feed particle size and its shape in ensuring optimal development and functioning of digestive tract and increasing productivity of birds. The results showed that compared to the feeding with smaller particles, the use of coarse feed increased stomach weight in broilers, enhanced enzymatic degradation of feed in digestive tract and improved nutrient bioavailability. The study found that increase in the level of coarse corn in the diet increased the number of *Lactobacillus* spp. and *Bifidobacteria* spp. beneficial bacteria in digestive tract. Meanwhile, number of opportunistic pathogenic microorganisms decreased. In birds which were given granular feed we found insufficient development of stomach, mainly due to the lack of mechanical stimulation. We assume that in order to improve stomach function and health of birds, it is necessary to apply a source of dietary fiber to their diet. The results of studies suggest that adding 2–3 % of insoluble source of fiber to the routine diets of young chickens based on high-protein soy flour and corn can improve their digestive tract development and growth characteristics.

Keywords: poultry, grain feed, particle size, shape, granulation, digestive tract, number of microorganisms

Conflicts of interest. The authors declared that they have no conflict of interest.

Article history:

Received: 24 February 2021. Accepted: 11 May 2021

For citation:

Polonskiy VI, Sumina AV. Influence of grain physical characteristics on functional value of poultry feed. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(2):167–175. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-167-175

Введение

В последние годы интенсивно исследуются вопросы влияния фракционного состава зернового сырья на физико-химические характеристики и функциональную ценность получаемых на его основе кормовых продуктов. Информация о взаимосвязи между физической структурой корма с одной стороны и функционированием желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и продуктивностью птиц с другой относится к важной составляющей стратегии производства кормов. Поэтому по А.М. Amerah [1], оптимизация размера частиц зерна является центральным звеном технологической операции измельчения кормов и всего процесса их изготовления.

С одной стороны, известно, что измельчение зернового корма способствует повышению качества его гранулирования, уменьшению разделения ингредиентов при дальнейшей обработке, а также увеличению эффективности и однородности

его смешивания [2]. Кроме того на примере ячменя, овса, ржи и пшеницы показано, что меньшие средние размеры зерновых частиц характеризуются более высокой эффективностью экстракции (до 31 %) остатков пестицидов из зерновой муки при прочих равных факторах [3]. С другой стороны, показано, что использование корма крупного помола сопровождается увеличением относительной массы желудка у бройлеров по сравнению с кормлением более мелкими частицами, а также усилением ферментативного расщепления корма в ЖКТ [4, 5].

Хотя зерновые культуры повсеместно считаются одним из основных компонентов в кормлении птиц, в данном направлении проводится весьма ограниченное количество работ. Результаты, полученные зарубежными учеными, указывают на наличие определенной связи размера зерновых частиц, их формы и однородности рациона с продуктивностью и состоянием здоровья птиц [6—8]. К сожалению, в России работ, посвященных изучению сказанного выше, чрезвычайно мало.

Целью исследования является анализ зарубежных научных литературных источников по проблеме влияния физических характеристик зернового сырья на функциональную ценность получаемых на его основе кормов для птиц. Данный обзор предлагается в первую очередь вниманию отечественных научных работников и специалистов-технологов зерноперерабатывающих производств, зооинженеров и биотехнологов.

Влияние размера частиц зернового сырья на функционирование желудочно-кишечного тракта у птиц

Сегодня широко распространено мнение о том, что меньший размер частиц корма способствует увеличению относительной площади его поверхности, что позволяет подвергать субстраты ингредиентов в организме птиц более эффективному воздействию пищеварительных ферментов и повышать усвояемость корма в целом [4, 9, 10].

Однако показано, что птицы, питавшиеся кормом, содержащим мелкие частицы, имели меньшие желудки по сравнению с теми особями, которые питались крупнозерновым кормом. Механизм влияния грубых частиц корма на увеличение массы желудка является следствием повышенного механического измельчения [5, 11]. Как правило, большой и хорошо развитый желудок связан с его повышенной измельчающей активностью [6, 7] и улучшением моторики ЖКТ [11], в результате чего улучшается переваривание питательных веществ [1].

Результаты нескольких исследований показали, что использование корма крупного помола не только сопровождается увеличением относительной массы желудка у бройлеров по сравнению с кормлением более мелкими частицами [4, 13, 14], но и усилением ферментативного расщепления корма в ЖКТ и улучшением усвояемости содержащихся в нем питательных веществ [15]. При использовании груборазмолотого корма наблюдались положительные эффекты в отношении функции ЖКТ, здоровья и продуктивности бройлеров и индеек [16].

Для оценки влияния включения в рацион питания крупнозернистой кукурузы исследовали продуктивность бройлеров, развитие и функцию ЖКТ, а также время удержания в нем частиц корма. В экспериментах 0, 25 и 50 % мелкозернистой ку-

курузы заменяли на крупнозернистую, что сопровождалось распределением корма по размерам соответственно 218, 204 и 181 мкм. В результате было установлено, что птицы, получавшие рационы, содержащие 25 и 50 % крупнозернистой фракции, демонстрировали повышенную активность функционирования ЖКТ, что, предположительно, происходило благодаря большему времени удержания в нем корма и усиленному развитию желудка [8].

Следует выделить, что птицы инстинктивно предпочитают потребление грубых частиц корма для стимуляции функции желудка, которая, как было предположено, контролирует моторику кишечника [9, 10].

Отметим, что в литературе имеются данные, свидетельствующие об отсутствии четкого влияния размера частиц зерна на функционирование ЖКТ птиц. Так, в трехнедельных экспериментах с 385 курами-несушками, содержащимися на рационах из кукурузы, пшеницы и сои с размерами кормовых частиц от 0,15 до 4,0 мм, авторам не удалось установить почти никакого влияния размера частиц на массу желудка, поджелудочной железы и тонкой кишки [17]. В [4] сообщается, что у птиц, содержащихся на рационе с тонким измельчением корма, размер частиц зерна на показатели переваримости белков и липидов существенного влияния не оказывал.

Как известно, в тонком кишечнике птиц основными видами бактерий являются молочнокислые, *Lactobacilli spp.* Увеличение количества этих микроорганизмов обычно считается полезным для здоровья хозяина, так как они могут предотвратить колонизацию некоторых патогенных микроорганизмов [18]. Однако следует выделить, что *Lactobacilli spp.*, обитающие в тонком кишечнике, по-видимому, ответственны за некоторое уменьшение переваривания липидов [19].

В [20] описано увеличение численности *Lactobacilli spp.* и снижение *Bifidobacteria spp.* после того, как птицам скармливали крупные частицы кукурузного корма (1,4 мм) по сравнению с теми, которым давали мелкие его частицы (0,6 мм). Другие авторы в своих экспериментах обеспечивали бройлеров рационами с градуированным уровнем грубой кукурузы (0, 150, 300, 450, 600 г/кг) и обнаружили, что с повышением уровня ее включения в рацион количество *Lactobacillus spp.* и *Bifidobacteria spp.* в ЖКТ увеличивалось, а количество *Clostridium spp.*, *Campylobacter spp.* и *Bacteroides spp.* уменьшалось [21]. Механизм наблюдаемого влияния размера частиц на профили микробиоты кишечника может быть объяснен следующим образом. Во-первых, стимуляция развития желудка и повышенная секреция соляной кислоты снижают величину рН и впоследствии оказывают антимикробное действие на патогенные бактерии, поступающие в дистальный отдел ЖКТ [18]. Во-вторых, конкурентному исключению патогенных бактерий может способствовать облегчение колонизации полезных видов [22].

Влияние физической структуры корма на функционирование желудочно-кишечного тракта у птиц

В литературе установлено различное влияние физической структуры и размера частиц корма на его усвоение. Так, найдено, что форма корма (пюре, крошка и гранулы) оказывала большее влияние на характеристики производительности

кур-несушек, чем размер частиц кормовых ингредиентов [23]. Однако размер частиц корма влиял на развитие ЖКТ и продуктивность птицы в большей степени, когда бройлеров кормили пюре, чем гранулированными кормами [5]. При этом показано, что после процесса гранулирования корма эффект размера частиц на развитие желудка усиливался [6, 7]. Найдено, что относительная масса желудка линейно возрастала с повышением включения грубой кукурузы в рацион в виде пюре, но не зависела от доли грубой кукурузы (до 500 г/кг) в корме, представленном в форме крошки [5, 24]. В проведенных исследованиях была оценена специфичность влияния размеров зерновых частиц, полученных из разных видов корма, на массу желудка. В итоге было обнаружено, что размер частиц кукурузы оказывал большее влияние на этот показатель, чем таковой соевого шрота [20, 25]. Отметим, что другие авторы в результате выполненных экспериментов, посвященных влиянию формы корма (пюре и крошка) и размера частиц зерна кукурузы и пшеницы (707 и 1096 мкм) на яйценоскость кур-несушек, четкой зависимости между изучаемыми параметрами не выявили [26].

Установлено, что гранулирование значительно уменьшало размер частиц корма и выравнивало различия между крупно и мелко измельченными шротами в рационах на основе пшеницы [18]. Авторы показали, что доля кормовых частиц размером более 1,0 мм снизилась за счет гранулирования с 262 до 149 г/кг в крупноизмельченном рационе и с 209 до 135 г/кг в мелкоизмельченном. Полученные результаты были подтверждены в [27], где авторы установили, что процесс гранулирования сопровождался уменьшением доли крупных частиц размером более 2,0 мм и увеличением доли мелких частиц менее 0,075 мм.

В экспериментах было показано, что относительная масса желудка птиц уменьшалась, когда их содержали на гранулированном рационе, а не на таковом в форме пюре. По мнению авторов, уменьшение размера желудка при подаче гранул является логической реакцией на снижение активности измельчения в результате более мелкого размера частиц, вызванного процессом гранулирования [4, 18, 27]. Показано, что птицы, которые получали гранулированные рационы, имели более низкую массу поджелудочной железы и активность панкреатических ферментов (амилазы, липазы и химотрипсина), чем те, кого кормили пюреобразными кормами [18]. Этот вывод согласуется с полученными на бройлерах результатами [28]. Корм, изготовленный из грубого пюре, дольше остается в желудке, тем самым увеличивает механическую стимуляцию этого органа и интенсивно измельчается [29].

Поскольку гранулирование уменьшает развитие желудка, время, затрачиваемое на прохождение корма в верхнем отделе ЖКТ, еще больше сокращается, что может выступать ограничивающим фактором эффективности работы ферментов в гранулированных рационах. По данным М. Абдоллахи с соавторами [30], учитывая повышенное потребление корма и уменьшенный размер желудка у птиц, кормящихся гранулами, время удержания на единицу корма становится еще короче по сравнению с птицами, содержащимися на рационе в форме пюре.

В целом, очевидно, что недостаточное развитие желудка у птиц, получающих гранулированное питание, обусловлено главным образом отсутствием его механи-

ческой стимуляции кормом. Гранулирование уменьшает потребность в измельчении, так что функция желудка почти сводится к функции транзитного органа [7].

В литературе показано, что на профиль микробиоты ЖКТ бройлеров оказывает влияние не только размер частиц корма, но и его физическая форма. Найдено, что птицы, кормящиеся гранулированным кормом, характеризовались более низким количеством *Lactobacilli spp.* и более высоким количеством кишечных палочек и энтерококков в кишечном тракте по сравнению с птицами, потребляющими корма в форме пюре [18].

К сожалению, данные о влиянии формы корма и вида зерновых культур на профиль микробиоты кишечника в литературе весьма скудны, и в этой области необходимы дополнительные исследования [8].

Оптимизация уровня клетчатки в рационе птиц

Введенный запрет на использование антибиотиков в кормах в качестве стимуляторов роста во многих странах мира привел к увеличению частоты кишечных заболеваний у домашней птицы. Для снижения частоты возникновения этой проблемы в качестве кормовой стратегии было изучено включение натуральных добавок, кормление цельнозерновыми злаками, использование грубых рационов в форме пюре и повышение в кормах уровня клетчатки.

Известны положительные эффекты умеренного включения в рацион клетчатки, заключающиеся в улучшении функции желудка и здоровья птиц. Показано, что увеличение структурных компонентов в кормах путем включения в рацион частиц грубого зерна и манипулирования составом пищевых волокон, улучшает здоровье кишечника, повышает использование корма и эффективность производства. Примером этого являются пищевые некрахмальные нерастворимые полисахариды, которые оказывают благотворное влияние на здоровье кишечника и использование питательных веществ, стимулируя выработку пищеварительных ферментов и усиливая бактериальную ферментацию в кишечнике [31]. По мнению Г. Матеоса с коллегами [32], включение от 2 до 3 % нерастворимого источника клетчатки в обычные рационы молодых цыплят на основе высокобелковой соевой муки и кукурузы может улучшить развитие пищеварительного тракта и ростовые показатели. Структурные компоненты рационов, такие как нерастворимая фракция пищевых волокон, улучшают функцию желудка, что, в свою очередь, положительно влияет на физиологию кишечника и продуктивность птицы. Необходимое количество пищевых волокон зависит от физико-химических характеристик источника волокна, особенно его растворимости, содержания лигнина и размера частиц.

В связи с сообщениями об улучшении доступности питательных веществ при добавлении в рацион структурных компонентов, стимулирующих развитие желудка, может быть рекомендовано включение в рацион домашней птицы 20...30 % частиц злаков размером более 1 мм или включение, по меньшей мере, 3 % грубых волокон, например, овсяной шелухи [6].

Заключение

По-видимому, птицы обладают способностью регулировать развитие своего ЖКТ и пищеварительных функций в соответствии со структурой кормового рациона. В частности, размер частиц и физическая форма корма оказывают большое влияние на размеры их желудка. Кормление птиц крупно измельченными частицами может иметь преимущество, так как данный технологический прием стимулирует функции желудка, в т. ч. секрецию соляной кислоты, повышает численность полезной микрофлоры, увеличивает время удержания корма в верхних отделах ЖКТ, что способствует улучшению процесса усвоения корма. По-видимому, имеющее место благотворное влияние на птиц крупных частиц, находящихся в составе корма, также предпочтительно и для повышения экономии энергии. Найдено, что у птиц, получающих гранулированный корм, отмечается плохое развитие желудка, что обусловлено, главным образом, отсутствием его механической стимуляции. В этом плане с целью улучшения функции желудка и здоровья птиц целесообразно ввести в их рацион источник пищевых волокон.

Библиографический список/ References

1. Amerah AM, Ravindran V, Lentle RG, Thomas DG. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. *World's Poultry Science Journal*. 2007; 63(3):439—455. doi: 10.1017/S0043933907001560
2. Behnke KC. Factors influencing pellet quality. *Feed Technology*. 2001; 5(4):19—22.
3. Herrmann SS, Hajeb P, Andersen G, Poulsen ME. Effects of milling on the extraction efficiency of incurred pesticides in cereals. *Food Additives and Contaminants: Part A*. 2017; 34(11):1948—1958. doi: 10.1080/19440049.2017.1339915
4. Peron A, Bastianelli D, Oury FX, Gomez J, Carre B. Effects of food deprivation and particle size of ground wheat on digestibility of food components in broilers fed on a pelleted diet. *British Poultry Science*. 2005; 46(2):223—230. doi: 10.1080/00071660500066142
5. Zaefarian F, Abdollahi MR, Ravindran V. Particle size and feed form in broiler diets: impact on gastrointestinal tract development and gut health. *World's Poultry Science Journal*. 2016; 72(2):277—290. doi: 10.1017/S0043933916000222
6. Svihus B. The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *World's Poultry Science Journal*. 2011; 67(2):207—224. doi: 10.1017/S0043933911000249
7. Amerah AM, Ravindran V, Lentle RG, Thomas DG. Influence of feed particle size and feed form on the performance, energy utilization, digestive tract development, and digesta parameters of broiler starters. *Poultry Science*. 2007; 86(12):2615—2623. doi: 10.3382/ps.2007-00212
8. Xu Y, Stark CR, Ferket PR, Williams CM, Pacheco WJ, Brake J. Effect of dietary coarsely ground corn on broiler live performance, gastrointestinal tract development, apparent ileal digestibility of energy and nitrogen, and digesta particle size distribution and retention time. *Poultry Science*. 2015; 94(1):53—60. doi: 10.3382/ps/peu015
9. Duke GE, Kuhlmann WD, Fedde MR. Evidence for mechanoreceptors in the muscular stomach of the chicken. *Poultry Science*. 1977; 56(2):297—299. doi: 10.3382/ps.0560297
10. Ferket PR, Gernat A.G. Factors that affect feed intake of meat birds: a review. *International Journal of Poultry Science*. 2006; 5:905—911. doi: 10.3923/IJPS.2006.905.911
11. Parsons AS, Buchanan NP, Blemings KP, Wilson ME, Moritz JS. Effect of corn particle size and pellet texture on broiler performance in the growing phase. *Journal of Applied Poultry Research*. 2006; 15(2):245—255. doi: 10.1093/japr/15.2.245
12. González-Alvarado JM, Jimenez-Moreno E, Valencia DG, Lazaro R, Mateos GG. Effects of fiber source and heat processing of the cereal on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers fed diets based on corn or rice. *Poultry Science*. 2008; 87(9):1779—1795. doi: 10.3382/ps.2008-00070
13. Nir I, Shefet G, Aaroni Y. Effect of particle size on performance. 1. Corn. *Poultry Science*. 1994; 73(1):45—49. doi: 10.3382/ps.0730045

14. Amerah AM, Lentle RG, Ravindran V. Influence of feed form on gizzard morphology and particle size spectra of duodenal digesta in broiler chickens. *The Journal of Poultry Science*. 2007; 44(2):175–181. doi: 10.2141/jpsa.44.175
15. Carre B. Effects of feed particle size on the digestive processes in domestic birds. *INRA Productions Animales*. 2000; 13(2):131–136.
16. Gabriel I, Mallet S, Leconte M, Travel A, Lalles JP. Effects of whole wheat feeding on the development of the digestive tract of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 2007; 142(1–2):144–162. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2007.06.036
17. Rohe I, Ruhnke I, Knorr F, Mader A, Boroogeni FG, Lowe R, Zentek J. Effects of grinding method, particle size, and physical form of the diet on gastrointestinal morphology and jejunal glucose transport in laying hens. *Poultry Science*. 2014; 93(8):2060–2068. doi: 10.3382/ps.2013–03783
18. Engberg RM, Hedemann MS, Jensen BB. The influence of grinding and pelleting of feed on the microbial composition and activity in the digestive tract of broiler chickens. *British Poultry Science*. 2002; 43(4):569–579. doi: 10.1080/0007166022000004480
19. Smits CH, Veldman A, Verkade HJ, Beynen AC. The inhibitory effect of carboxymethylcellulose with high viscosity on lipid absorption in broiler chickens coincides with reduced bile salt concentration and raised microbial numbers in the small intestine. *Poultry Science*. 1998; 77(10):1534–1539. doi: 10.1093/ps/77.10.1534
20. Jacobs CM, Utterback PL, Parsons CM. Effect of corn particle size on growth performance and nutrient utilization in young chicks. *Poultry Science*. 2010; 89(3):539–544. doi: 10.3382/ps.2009-00434
21. Singh Y, Ravindran V, Wester TJ, Molan AL, Ravindran G. Influence of feeding coarse corn on performance, nutrient utilization, digestive tract measurements, carcass characteristics, and cecal microflora counts of broilers. *Poultry Science*. 2014; 93(3):607–616. doi: 10.3382/ps.2013-03542
22. Santos FBO, Sheldon BW, Santos Jr AA, Ferket PR. Influence of housing system, grain type, and particle size on *Salmonella* colonization and shedding of broilers fed triticale or corn-soybean meal diets. *Poultry Science*. 2008; 87(3):405–420. doi: 10.3382/ps.2006-00417
23. Kocer B, Bozkurt M, Kucukyilmaz K, Ege G, Aksit H, Orojpour A, Topbas S, Tuzun AE, Bintas E, Seyrek K. Effects of particle sizes and physical form of the diet on performance, egg quality and size of the digestive organs in laying hens. *European Poultry Science*. 2016; 80:223–230. doi: 10.1399/eps.2016.159
24. Xu Y, Stark CR, Ferket PR, Williams CM, Brake J. Effects of feed form and dietary coarse ground corn on broiler live performance, body weight uniformity, relative gizzard weight, excreta nitrogen, and particle size preference behaviors. *Poultry Science*. 2015; 94(7):1549–1556. doi: 10.3382/ps/pev074
25. Pacheco WJ, Stark CR, Ferket PR, Brake J. Evaluation of soybean meal source and particle size on broiler performance, nutrient digestibility, and gizzard development. *Poultry Science*. 2013; 92(11):2914–2922. doi: 10.3382/ps.2013-03186
26. Ege G, Bozkurt M, Kocer B, Tuzun AE, Uygun M, Alkan G. Influence of feed particle size and feed form on productive performance, egg quality, gastrointestinal tract traits, digestive enzymes, intestinal morphology, and nutrient digestibility of laying hens reared in enriched cages. *Poultry Science*. 2019; 98(9):3787–3801. doi: 10.3382/ps/pez082
27. Abdollahi MR, Ravindran V, Wester TJ, Ravindran G, Thomas DV. Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. *Animal Feed Science and Technology*. 2011; 168(1–2):88–99. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.03.014
28. Agah MJ, Norollahi H. Effect of feed form and duration time in growing period on broilers performance. *International Journal of Poultry Science*. 2008; 7(11):1074–1077.
29. Hetland H, Svihus B. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. *British Poultry Science*. 2001; 42(3):354–361. doi: 10.1080/00071660120055331
30. Abdollahi MR, Ravindran V, Svihus B. Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of nitrogen, starch, fat, calcium and phosphorus in broiler starters. *Animal Feed Science and Technology*. 2013; 186(3–4):193–203. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.10.015
31. Kheravii SK, Morgan NK, Swick RA, Choct M, WU S-B. Roles of dietary fibre and ingredient particle size in broiler nutrition. *World's Poultry Science Journal*. 2018; 74(2):301–316. doi: 10.1017/S0043933918000259
32. Mateos GG, Jiménez-Moreno E, Serrano MP, Lázaro RP. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *Journal of Applied Poultry Research*. 2012; 21(1):156–174. doi: 10.3382/japr.2011-00477

Об авторах:

Полонский Вадим Игоревич — доктор биологических наук, профессор, кафедра ландшафтной архитектуры и ботаники, Институт агроэкологических технологий, Красноярский государственный аграрный университет, Российская Федерация, г. Красноярск, ул. Стасовой, 44 д; e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Сумина Алена Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра химии и геоэкологии, Институт естественных наук и математики, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Российская Федерация, г. Абакан, ул. Ленина, д. 90; e-mail: alenasumina@list.ru

About authors:

Polonskiy Vadim Igorevich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Landscape Architecture and Botany, Institute of Agroecological Technologies, Krasnoyarsk State Agrarian University, 44, Stasovoy st., Krasnoyarsk, 660113, Russian Federation; e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Sumina Alena Vladimirovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Geoecology, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Katanov Khakass State University, 90, Lenina st., Abakan, 655017, Russian Federation; e-mail: alenasumina@list.ru