

Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 2. С. 30-45.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 2. P. 30-45.

Научная статья
УДК 636.5:591.149
doi: 10.33284/2658-3135-109-2-30

Влияние различных типов и размеров пищевых волокон на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров

**Александр Андреевич Тишин¹, Юрий Константинович Петруша²,
Святослав Валерьевич Лебедев³**

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

¹alex.vet7787@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3808-4275>

²shadow752@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8283-2972>

³lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

Аннотация. Клетчатка является инструментом для модуляции микрофлоры кишечника и управления обменом веществ посредством изменения ее структуры, типа и размерности волокон. Целью данного исследования было оценить влияние типа клетчатки, длины волокон на показатели переваримости и продуктивности цыплят-бройлеров. Из 120 суточных самцов-бройлеров кросса Росс 308 методом групп-аналогов были сформированы 4 группы: получавшие контрольный рацион и 3 других рационов, включающие различные типы клетчатки. В рацион I опытной группы вводили пшеничную клетчатку (длина волокон – 90 мкм), II опытной группы – древесную целлюлозу (целлюлоза микрокристаллическая (Е-460), длина волокон – 1-20 мкм), III опытной группы – концентрат сырой клетчатки (длина волокон – 200-300 мкм). Введение клетчатки проводилось за счет 3 % замены зерновой части рациона. Бройлеров выращивали до 42-суточного возраста в клеточной батарее. Независимо от типа и размерности клетчатки установлено снижение поедаемости корма при снижении их затрат на 1 кг прироста живой массы от 9 до 9,6 %. Результаты оценки продуктивности бройлеров свидетельствуют, что с 28-суточного возраста птица I опытной группы опережала контрольную и другие опытные группы по живой массе на 22,1 % ($P \leq 0,05$) с сохранением превосходства до 42 суток эксперимента. Это подтверждалось некоторым увеличением переваримости питательных веществ, чистой энергии прироста на 2 и 2,1 % от валовой энергии при снижении потери энергии с пометом на 0,8 % и 1,2 % при включении пшеничной клетчатки и древесной целлюлозы соответственно. Значимым показателем являлось повышение чистой энергии (на 2,3-4,5 %) и обменной энергии поддержания (на 2,5-5,5 %) в опытных группах, что выражалось в увеличении уровня питания на 0,6 % (в I и III опытных группах) и 1,2 % (во II опытной группе) по сравнению с контрольными значениями. Таким образом, различные типы и источники клетчатки в совокупности с разноразмерностью характеризуются общим влиянием на энергетический обменный пул организма, с отличительной особенностью пшеничной клетчатки, которая обладает специфичным модулирующим действием на переваримость и ростовые показатели.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, рацион, клетчатка, питательные вещества, показатели роста

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке гранта на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (№ 075-15-2024-550).

Для цитирования: Тишин А.А., Петруша Ю.К., Лебедев С.В. Влияние различных типов и размеров пищевых волокон на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 2. С. 30-45. [Tishin AA, Petrushe YuK, Lebedev SV. The effect of different types and sizes of dietary fiber on the metabolism and productivity of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(2):30-45. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-2-30>

Original article

The effect of different types and sizes of dietary fiber on the metabolism and productivity of broiler chickens**Alexander A Tishin¹, Yuriy K Petrusha², Svyatoslav V Lebedev³**^{1,2,3}Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia¹alex.vet7787@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3808-4275>²shadow752@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8283-2972>³lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

Abstract. Fiber is a tool for modulating the intestinal microflora and controlling metabolism by changing its structure, type, and fiber size. The purpose of this study was to evaluate the effect of fiber type and fiber length on the digestibility and productivity of broiler chickens. Four groups were formed from 120 day-old male broilers of the Ross 308 cross using the analog group method: those who received a control diet and 3 other rations, including various types of fiber. Wheat fiber, with a fiber length of 90 microns, was introduced into the diet of experimental group I, II experimental group – dry cellulose (microcrystalline cellulose (E-460), with a fiber length of 1-20 microns), and in III experimental group – crude fiber concentrate, with a fiber length of 200-300 microns. The introduction of fiber was carried out due to a 3% replacement of the grain part of the diet. Broilers were raised up to 42 days of age in a cellular container. Regardless of the type and size of fiber, a decrease in feed consumption was found with a reduction in feed costs per 1 kg of live weight gain from 9 to 9.6%. The results of the assessment of broiler productivity indicate that from the age of 28 days, the bird of the I experimental group was ahead of the control and others experimental groups in live weight by 22.1% ($P \leq 0.05$), while maintaining superiority until the 42nd day of the experiment. This was confirmed by a slight increase in the digestibility of nutrients, net energy gains of 2% and 2.1% of gross energy, while reducing energy loss by 0.8% and 1.2% with the inclusion of wheat fiber and wood pulp, respectively. A significant indicator was an increase in net energy (by 2.3-4.5%) and metabolic maintenance energy (by 2.5-5.5%) in the experimental groups, which resulted in an increase in nutrition levels by 0.6% (in the I and III experimental groups) and 1.2% (in the II experimental group) compared with the control values. Thus, different types and sources of fiber, together with their the disparity, are characterized by a general effect on the energy exchange pool of the body, with a distinctive feature of wheat fiber, which has a specific modulating effect on digestibility and growth indicators.

Keywords: broiler chickens, feeding, diet, fiber, nutrients, growth indicators

Acknowledgments: the work was carried out with the financial support of a grant for major scientific projects in priority areas of scientific and technical development (No. 075-15-2024-550).

For citation: Tishin AA, Petrusha YuK, Lebedev SV. The effect of different types and sizes of dietary fiber on the metabolism and productivity of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(2):30-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-2-30>

Введение.

Современные тенденции сокращения производственных затрат на корма сопровождается включением более дешевых кормовых ингредиентов в состав рационов домашней птицы, таких как пищевые волокна или клетчатка. Различные корма различаются по типу, количеству и пропорциям пищевых волокон (ПВ) (Knudsen KE, 2014; Jaworski NW et al., 2015; Nguyen N et al., 2019), которые обеспечивают широкий спектр потенциальных физиологических и питательных свойств при использовании в рационах бройлеров (Hetland H et al., 2003; Owusu-Asiedu A et al., 2006; Jiménez-Moreno E et al., 2016).

Пищевые волокна связаны с изменениями показателей роста (Hetland H and Svihus B, 2001; Jiménez-Moreno E et al., 2016), морфологией кишечника (Sklan D et al., 2003) и усвояемости пита-

тельных веществ (Tejeda OJ and Kim WK, 2020). Тип клетчатки, ее количество и размер частиц являются наиболее важными факторами, которые следует учитывать в качестве функционального ингредиента (Tejeda OJ and Kim WK, 2021). С точки зрения способности пищевых волокон взаимодействовать с молекулами воды, их разделяют на растворимые или нерастворимые (Chaplin MF, 2003), которые формируют тип клетчатки. Вязкие растворимые волокна ассоциируются с ухудшением показателей роста в силу нарушения нормальной ферментативной активности и усвояемости питательных веществ (Hetland H et al., 2003). Было показано, что нерастворимые волокна, используемые в небольших количествах (т. е. 3-5 %), влияют на морфологию кишечника и усвоение питательных веществ (Tejeda OJ and Kim WK, 2021). Размер частиц, по-видимому, играет первостепенную роль в регулировании перистальтики кишечника и, как следствие, в усвоении питательных веществ (Kheravii SK et al., 2018). Сообщалось, что этот полезный эффект важен для различных частей желудочно-кишечного тракта как для крупных, так и для мелких частиц (Amerah AM et al., 2007). Установлено, что пищевые волокна регулируют развитие кишечника (Sklan D et al., 2003; Sadeghi A et al., 2015) и общий метаболизм питательных веществ (Hetland H et al., 2003; Kheravii SK et al., 2018) в зависимости от типа и количества входящих в их состав пищевых волокон в рационе питания. Помимо этого улучшается структура слизистой оболочки кишечника, увеличивается высота ворсинок и глубина крипт, что положительно сказывается на процессах всасывания (Кван О.В. и др., 2024; Okrathok S et al., 2023).

Недостаточно известно о роли, которую играет размер частиц при использовании различных типов пищевых волокон, их функциональная значимость при формировании продуктивных качеств цыплят-бройлеров.

Цель исследования.

Изучить биологические эффекты разных типов и размерности пищевых волокон в составе рациона на показатели продуктивности и переваримости питательных веществ корма цыплятами-бройлерами.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса «Росс 308».

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fncbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН.

Схема эксперимента. Из 120 суточных самцов-бройлеров кросса Росс 308 методом групп аналогов были сформированы 4 группы. Контрольная группа получала стандартный рацион согласно паспорту кросса и рекомендациям по кормлению сельскохозяйственной птицы (Фисинин В.И. и др., 2023). В рационах опытных групп использовали различные типы клетчатки, вводимые за счет замены 3 % зерновой части. В рацион I опытной группы вводили пшеничную клетчатку (Рузацель F90, длина волокон – 90 мкм), II опытной группы древесную целлюлозу (целлюлоза микрокристаллическая (Е-460), длина волокон – 1-20 мкм), и в III опытной группы, концентрат сырой клетчатки Арбоцел (длина волокон – 200-300 мкм). Продолжительность эксперимента – 35 суток.

Кормление бройлеров проводилось 2 раза в сутки, учет поедаемости кормов – ежесуточно. Кормление птицы осуществлялось согласно потребности организма в различные возрастные периоды. Птица содержалась в специализированных для бройлерного откорма клетках (ООО Стимул-

ИНК, Россия). Микроклимат в помещении соответствовал требованиям РД-АПК 1.10.05.04-13. Динамику показателей роста оценивали путем еженедельного индивидуального взвешивания перед кормлением. На основании взвешивания рассчитан абсолютный и среднесуточный приросты.

Изучение обмена веществ в процессе балансового опыта проводилось в соответствии с «Методическими рекомендациями по проведению научных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы» (Егоров И.А. и др., 2013; Фисинин В.И. и Егоров И.А., 2015). На основании лабораторного анализа рассчитывался химический состав и переваримость корма.

Химический состав помета и кормов определяли по стандартизированным методикам: корма (ГОСТ 31640-2012 – методы определения содержания сухого вещества, ГОСТ 32044.1-2012 – определение азота и доли сырого протеина, ГОСТ 13496.15-2016 – методы определения содержания сырого жира).

Характеристика вводимых веществ: Рузацель F90 – клетчатка пшеничная, (ОАО «Мяскомбинат «Рузский», г. Руза, Россия), средняя длина волокон – 90 мкм, гидратация – 1:3. Пшеничная клетчатка представляет собой продукт ферментативного гидролиза зерна пшеницы, в ходе которого под действием энзимов удаляются крахмал и белки, а целевой фракцией остаются некрахмальные полисахариды клеточных стенок. Основными компонентами пшеничной клетчатки являются арабиноксиланы (преобладающая фракция), смешанные β -глюканы и целлюлоза. Соотношение пентозанов (арабиноксиланов) к β -глюканам в пшенице может достигать 10:1. Содержание сырой клетчатки в коммерческих образцах пшеничной клетчатки составляет не менее 90 %, сырого протеина — около 4 %.

Целлюлоза микрокристаллическая (Е-460) – древесная целлюлоза (Hiranya Cellulose Products, Индия), длина волокон – от 5 до 20 мкм, характеризуется низкой гигроскопичностью и способностью формировать гели. Древесная целлюлоза (лигноцеллюлоза) производится путем гидролиза древесины лиственных или хвойных пород с применением кислот или ферментов, в ходе которого лигнин и гемицеллюлоза частично расщепляются до доступных углеводов. В отличие от растительных волокон из зерновых древесная целлюлоза характеризуется высоким содержанием нерастворимой фракции (более 90 %) и значительной долей лигнина. Содержание сырой клетчатки в стандартизированных продуктах превышает 65 % сухого вещества, а содержание кислотодетергентного лигнина (ADL) составляет не менее 20 %.

Арбоцел (Arbocel RC Fine) – специализированный препарат на основе концентрата нерастворимых волокон (J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH, Германия), размеры волокон: диаметр – 20-30 мкм, длина – 200-300 мкм. Основным компонентом данного препарата является концентрат сырой клетчатки, который получают путем ферментативной обработки зернового сырья (пшеница, овес, рожь), при которой энзимы разрушают крахмальные и белковые компоненты, высвобождая грубые волокна с последующей сушкой до оптимальной влажности. По химическому составу данный продукт занимает промежуточное положение между пшеничной клетчаткой и древесной целлюлозой: он содержит как нерастворимые фракции (целлюлоза, лигнин), так и остаточные количества гемицеллюлоз. Содержание сырой клетчатки в концентрате достигает 88 %, сырого протеина – около 6 %.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены в ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>.

Статистическая обработка. Статистический анализ выполняли с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» («Microsoft», США) с применением «Excel 2016» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («StatSoft Inc.», США), который включал расчёт среднего значения (М) и стандартные ошибки среднего ($\pm$ SEM). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на $P \leq 0,05$.

Результаты исследования.

Химический состав и питательность рационов контрольной группы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав рациона, %
Table 1. Chemical composition of the diet, %

Показатели / <i>Indicators</i>	Группа / <i>Group</i>			
	контрольная / <i>control</i>	I опытная группа / <i>I experimental group</i>	II опытная группа / <i>II experimental group</i>	III опытная группа / <i>III experimental group</i>
Старт / <i>Start</i>				
Сухое вещество / <i>Dry matter</i>	89,29	89,48	89,47	89,39
Сырая клетчатка / <i>Raw fiber</i>	4,0	5,0	4,88	5,15
Сырой жир / <i>Raw fat</i>	4,76	4,63	4,62	4,63
Сырой протеин / <i>Crude protein</i>	23,0	22,76	22,31	22,34
Содержание золы / <i>Ash content</i>	5,7	5,57	5,53	5,54
Рост / <i>Growth</i>				
Сухое вещество / <i>Dry matter</i>	91,57	91,75	91,75	91,66
Сырая клетчатка / <i>Raw fiber</i>	4,0	4,99	4,87	5,13
Сырой жир / <i>Raw fat</i>	4,78	4,65	4,64	4,65
Сырой протеин / <i>Crude protein</i>	21,69	21,06	21,04	21,06
Содержание золы / <i>Ash content</i>	6,1	5,93	5,92	5,93

Основное влияние всех добавок – значительное увеличение содержания сырой клетчатки в рационе на 22-29 %. Меньше всего клетчатки обеспечивает микрокристаллическая целлюлоза, больше всего – концентрат сырой клетчатки. Из-за того, что мы заменяем 3 % зерновой части, которая содержит протеин, жир и другие вещества, происходит небольшое снижение доли сырого протеина, жира и золы во всех опытных группах от 2 до 3,5 %.

Оценка поедаемости кормов (табл. 2) демонстрирует снижение потребления кормов в стартовый период в I опытной группе – на 5,1 %, во II опытной группе – 8,4 %, в III опытной группе – на 13,1 %. В ростовой период тенденция сохранилась для II и III опытных групп на фоне прогнозируемого снижения затрат корма на 1 кг прироста живой массы от 9 до 9,6 % не зависимо от типа клетчатки и длины волокон (табл. 2).

Таблица 2. Поедаемость кормов цыплятами бройлерами, г/гол.
Table 2. Feed consumption by broiler chickens, g/head

Показатель / <i>Indicator</i>	Группа / <i>Group</i>			
	контрольная / <i>control</i>	I опытная группа / <i>I experimental group</i>	II опытная группа / <i>II experimental group</i>	III опытная группа / <i>III experimental group</i>
Стартовый рацион, г / <i>Starting ration, g</i>	1370	1300	1255	1190
Ростовой рацион, г / <i>Growth ration, g</i>	1785	1880	1655	1670
Всего за эксперимент, г / <i>Total for the experiment, g</i>	3155	3180	2910	2860
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы / <i>Feed costs per 1 kg of live weight gain</i>	1,67	1,52	1,51	1,52

Результаты оценки продуктивности бройлеров представлены в таблице 3. Цыплята бройлеры I опытной группы в возрасте 28 суток опережали контрольную группу по живой массе на 22,1 % ($P \leq 0,05$), в 42 суток – на 9,3 % ($P \leq 0,05$). Бройлеры III группы по абсолютному и среднесуточному приросту были близки к контрольным показателям. Превосходство I и II опытных групп над контрольной составляло 10,1 % ($P \leq 0,05$) и 2,4 % соответственно.

Таблица 3. Динамика живой массы птиц и абсолютный прирост живой массы за период эксперимента, г

Table 3. Dynamics of live weight of birds and absolute gain in live weight during the experiment period, g

Возраст, сут / Age, day	Контроль / Control	I опытная группа / I experimental group	II опытная группа / II experimental group	III опытная группа / III experimental group
7	185,2±3,39	185±3,06	185,2±2,87	185,2±2,93
14	304,4±18,8	349±13,7	392±15,0*	313±8,28
21	554,4±39,8	633±24,2	741±26,2*	560,8±26,6
28	959,6±46,4	1231±44,9*	1216±37,2*	944,4±45,7
35	1530,1±52,56	1700±53,1*	1671±58,2	1522±54,72
42	2070±74,17	2283±68,7*	2116±54,11	2072±61,1
Абсолютный прирост за период опыта (35 суток) / Absolute gain during the experiment period (35 days)	1885±35,7	2098±34,8*	1931±37,1	1887±36,2
Среднесуточный прирост за период опыта, г / Average daily gain during the experiment period, g	53,9±1,1	59,9±1,6*	55,2±1,9	53,9±1,1

Примечание: * – $P \leq 0,05$ при сравнении опытных групп с контрольнойNote: * – $P \leq 0.05$ when comparing experimental groups with the control group

Основываясь на показателе живой массы, в стартовый период наибольшей эффективностью характеризовалась группа, в рацион которой включали древесную целлюлозу, а в ростовой период – пшеничную клетчатку, что зависело от степени переваримости корма (табл. 4).

Таблица 4. Коэффициенты переваримости питательных веществ кормов, %

Table 4. Coefficients of digestibility of feed nutrients, %

Группа / Group	Органическое вещество / Organic matter	Сырой жир / Raw fat	Сырой протеин / Crude protein	Сырая клетчатка / Raw fiber	БЭВ / NfES
Стартовый рацион / Starting ration					
Контроль / Control	72,8±0,43	64,3±0,52	78,6±0,55	13,4±0,22	74,9±0,44
I опытная группа / I experimental group	74,1±0,39*	66,0±0,48*	79,3±0,58	14,2±0,26*	75,7±0,58
II опытная группа / II experimental group	74,7±0,41*	65,9±0,58	79,7±0,69*	14,3±0,29*	75,4±0,61
III опытная группа / III experimental group	73,9±0,45	66,1±0,52*	80,2±0,63	14,2±0,19*	75,8±0,53
Ростовой рацион / Growth ration					
Контроль / Control	74,9±0,52	70,0±0,59	74,2±0,61	16,7±0,16	75,2±0,63
I опытная группа / I experimental group	76,6±0,57*	72,1±0,44*	76,8±0,69*	17,3±0,23*	76,1±0,71
II опытная группа / II experimental group	76,1±0,48	71,8±0,56*	75,6±0,57	16,9±0,18	75,9±0,66
III опытная группа / III experimental group	76,3±0,66	71,9±0,51*	75,9±0,51*	17,1±0,15	76,4±0,58

Примечание: * – $P \leq 0,05$ при сравнении опытных групп с контрольнойNote: * – $P \leq 0.05$ when comparing experimental groups with the control group

В стартовый период значимых различий между группами не зафиксировано. Тогда как ростовой период характеризовался достоверным ($P \leq 0,05$) превышением коэффициента переваримости сырого жира во всех опытных группах по сравнению с контрольной группой на 1,8-2,1 %. Переваримость сырого протеина достоверно увеличивается в I и III опытных группах на 2,6 % и 1,7 %. В итоге I опытная группа по совокупности параметров имела более положительный эффект от включения в рацион источника пищевых волокон Рузацель.

Отражение степени эффективности использования различных типов клетчатки и разноразмерностью длины волокон проявлялось в увеличении чистой энергии прироста I и II опытных групп на 2 и 2,1 % от валовой энергии при снижении потери энергии с пометом на 0,8 % (в I опытной группе), 1,2 % (во II опытной группе) и 0,7 % (в III опытной группе) относительно контрольных значений (табл. 5).

Таблица 5. Баланс энергии в организме подопытной птицы за эксперимент, МДж/гол.

Table 5. Energy balance in the body of the experimental bird per experiment, MJ/head

Группа / Group	Валовая энергия корма (ВЭ), МДж / Gross feed energy (GE), MJ	Потери энергии с пометом, % от ВЭ / Energy losses with droppings, % of GE	Обменная энергия, МДж / Exchange energy, MJ	Потери энергии с теплопродукцией, % от ВЭ / Energy losses with heat production, % of GE	Чистая энергия прироста / Net growth energy	
					МДж/гол. / MJ/head	% от ВЭ / % of GE
Контроль / Control	72,9	27,8	52,6	36,9	25,7	35,3
I опытная группа / I experimental group	73,3	27	53,5	35,7	27,3	37,3
II опытная группа / II experimental group	73,5	26,6	53,9	36,0	27,4	37,4
III опытная группа / III experimental group	73,0	27,1	53,2	36,4	26,6	36,5

Установленные различия баланса энергии в организме цыплят-бройлеров проявляется в особенностях межклеточного обмена (табл. 6).

Таблица 6. Особенности межклеточного обмена в организме цыплят-бройлеров за период эксперимента

Table 6. Features of interstitial metabolism in the body of broiler chickens during the experiment period

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контроль / control	I опытная группа / I experimental group	II опытная группа / II experimental group	III опытная группа / III experimental group
1	2	3	4	5
Чистая энергия поддержания, МДж/гол. / Net energy maintenance, MJ/head	12,7	13	13,3	13,1

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5
Обменная энергия поддержания, МДж/гол. / <i>Maintenance metabolizable energy, MJ/head</i>	15,4	16,3	16,1	15,8
Обменная энергия продукции, МДж/гол. / <i>The metabolizable energy of the product, MJ/head</i>	37,8	38,2	38,1	37,8
Обменность ВЭ, % / <i>Exchange rate of GE, %</i>	72,2	73	73,4	72,9
Коэффициент полезного использования обменной энергии / <i>The efficiency of the metabolizable energy</i>	0,7	0,71	0,71	0,71
Уровень питания / <i>Nutrition level</i>	1,61	1,62	1,63	1,62
Концентрация обменной энергии, МДж/кг СВ / <i>Concentration of metabolizable energy, MJ/kg DM</i>	20	19,5	19,7	20,4
Коэффициент соответствия / <i>Compliance rate</i>	0,037	0,036	0,036	0,036
Энергопротеиновое отношение / <i>The energy protein ratio</i>	0,26	0,27	0,27	0,27

В опытных группах чистая энергия поддержания выросла на 2,3-4,5 %, а обменная энергия поддержания на 2,5-5,5 %. Это отразилось на уровне питания: он увеличился на 0,6 % в I и III опытных группах и на 1,2 % – во II опытной группе по сравнению с контрольными значениями.

Коэффициент полезного использования обменной энергии во всех опытных группах оказался выше контрольного на 1,4 %.

На основе этих данных был выполнен расчет трансформации энергии и протеина корма в организме цыплят-бройлеров (табл. 7).

Таблица 7. Трансформация энергии и протеина корма в тело подопытных бройлеров за учетный период

Table 7. Transformation of feed energy and protein into the body of experimental broilers during the reference period

Показатель / <i>Indicator</i>	Группа / <i>Group</i>			
	контроль / <i>control</i>	I опытная группа / <i>I experimental group</i>	II опытная группа / <i>II experimental group</i>	III опытная группа / <i>III experimental group</i>
Отложилось / <i>Postponed</i>				
Протеин, г/ <i>Protein, g</i>	338±26,6	344±28,3	349±25,9	340±26,8
Энергия, МДж / <i>Energy, MJ</i>	12±0,87	12,2±0,68	12,6±0,83	12,1±0,81
Коэффициент конверсии, % / <i>Conversion rate, %</i>				
Протеин / <i>Protein</i>	32,8±1,7	33,9±1,4	34,3±1,9	33,4±1,7
Энергия / <i>Energy</i>	31±2	32,5±1,8	32,8±1,3	31,7±1,4

По отложению протеина I опытная группа превосходит контрольную на 1,7 %, II – на 3,2 %, III – на 0,6 %. Преимуществом по отложению энергии над контрольными значениями характеризовалась I группа – 1,6 %, во II – 4,8 %, в III – 0,8 %.

Конверсия протеина во всех опытных группах была большей относительно контрольной на 1,1 %, 1,5 % и 0,8 %, соответственно, а энергии от 0,7 до 1,8 %.

Таким образом, различные типы и источники клетчатки в совокупности с разноразмерностью характеризуются общим влиянием на энергетический потенциал организма с отличительной особенностью пшеничной клетчатки, которая обладает специфичным модулирующим действием.

Обсуждение полученных результатов.

Чтобы оценить влияние типа клетчатки с различной длиной волокон были составлены рационы практически с аналогичным содержанием питательных веществ. Несмотря на это, наблюдались различия в ростовых показателях между вариантами кормления. В частности, включение концентрата сырой клетчатки с длиной волокон 200 мкм снижало переваримость питательных веществ и обмен энергии, т. е. Арбоцел не обладал положительным действием на ростовые показатели, в отличие от низкой и средней размерности волокон. Это можно объяснить различиями в типах клетчатки, связанную с наличием большего числа водородных связей, что обеспечивает стабильность, низкую растворимость в воде и устойчивость к кислотному гидролизу (Jaworski NW et al., 2015), а также инкапсуляцией питательных веществ в верхних отделах пищеварительного тракта. Преимуществом уменьшения размера частиц является доступность для ферментации. Различия по потреблению корма возможно связано с гигроскопичностью пищевых волокон и медленной резорбцией питательных веществ (Amerah AM et al., 2007; Sacranie A et al., 2012).

Аналогично этим результатам Donadelli RA с коллегами (2019) обнаружили, что мелкие частицы снижали ростовые характеристики при использовании различных типов клетчатки. Другие исследователи предположили, что нерастворимая клетчатка с крупной частицей в некоторых случаях может способствовать улучшению продуктивности роста путем модуляции функций кишечника (Ghaffar OR et al., 2025).

Если регистрировалось отсутствие различий в живой массе между контрольной и опытной группами, в состав рациона которой входил концентрат сырой клетчатки с размером волокон 200 мкм, то для 20 и 90 мкм наблюдались более лучшие результаты. Эти различия могут быть связаны с матрицей сырой клетчатки, которая по-разному взаимодействует в желудочно-кишечном тракте по сравнению с очищенной пшеничной клетчаткой. Группы, получавшие сырую клетчатку, имели более низкий прирост массы, потребление корма и более нестабильный межкучный обмен по сравнению с пшеничной клетчаткой и микрокристаллической целлюлозой.

Первое возможное объяснение этого – увеличенная площадь поверхности более мелких частиц, создающая больше доступных участков для адгезии бактерий. Во-вторых, изменение физической структуры может изменить пространственную организацию субстратов в микрометровом масштабе, приводя к различиям в микробной сукцессии и, в конечном итоге, к более разнообразным микробным сообществам, прикрепленным к более мелким частицам (Boets E et al., 2017; De Raere K et al., 2020; Stewart ML and Slavin JL, 2009; Tuncil YE et al., 2018). Дополнительным фактором, влияющим на микробную ферментацию клетчатки *in vitro* и *in vivo*, является время инкубации или транзита, которое часто различается в исследованиях, но выходит за рамки данной статьи (De Raere K et al., 2020; Letourneau J et al., 2024; Tuncil YE et al., 2018). При наличии достаточного времени кишечный микробиом также может адаптироваться к изменениям в рационе.

Уменьшение размера частиц стимулирует ферментируемость фракций клетчатки и может обеспечить наиболее подходящий субстрат для микробных сообществ по сравнению с более крупными фракциями. При этом возникает вопрос о влиянии уменьшения размера частиц клетчатки на скорость ферментации. Вместе с тем включение крупной фракции клетчатки также улучшает параметры ферментации *in vivo*. В нашем исследовании при уменьшении размера волокон увеличил-

ся синтез жира и протеина. Доступность энергии для обмена характеризовалась ее высвобождением для метаболизма и трофических преобразований.

Отсутствие у животных ферментов, которые могли бы полностью расщепить пищевые волокна до глюкозы и использовать их как источник энергии компенсируется наличием предварительного этапа подготовки клетчатки к скармливанию (ферментация, измельчение и т. д.). Общая энергия, получаемая из 25 г клетчатки, составляет около 100 ккал. С одной стороны, для ферментации крупных частиц необходима дополнительная энергия, с другой, процесс сопровождается адаптацией микроорганизмов к определенному типу клетчатки. Это наглядно демонстрируют другие исследования (Холодилина Т.Н. и др., 2024; Гречкина В.В. и др., 2021) о положительном влиянии на морфологию органов пищеварительной системы и предотвращения развития воспалительных процессов в кишечнике, снижающих темпы набора массы и ухудшающие общее состояние птицы.

Повышенная переваримость сырого протеина и сырой клетчатки в опытных группах также подтверждается зарубежными исследованиями. Например, ряд ученых (Ghaffar OR et al., 2025; Karimipour M et al., 2025) отмечают, что включение цельного зерна пшеницы улучшает функцию желудка. Наш подход демонстрирует сходные эффекты, связанные с добавлением клетчатки.

По данным исследователей, включение 3 % пищевых волокон стимулирует развитие желудочно-кишечного тракта, тем самым увеличивается масса мышечного желудка и длина слепой кишки, что создает предпосылки для эффективной механической и микробной обработки клетчатки (Rybicka A et al., 2024). Также изменяется состав микробиоты: нерастворимые и частично растворимые волокна служат субстратом для целлюлозолитических бактерий, в частности лактобацилл, и способствуют переключению микробного метаболизма с протеолитического на сахаролитический тип, что подтверждается снижением изовалерата и изобутирата при добавлении пшеничных отрубей (Kasireddy B et al., 2025). Продукты ферментации клетчатки – короткоцепочечные жирные кислоты, которые дополнительно улучшают трофику кишечного эпителия и всасывательную способность (Okrathok S et al., 2023).

Важно отметить, что в нашем исследовании положительный эффект проявился уже в стартовый период, что, вероятно, связано с адаптацией кишечной микрофлоры и высокой биодоступностью использованных источников – пшеничная клетчатка, древесная целлюлоза (Karimipour S et al., 2025). Наибольшее повышение переваримости клетчатки в ростовой период отмечено в группе, получавшей пшеничную клетчатку, что согласуется с оптимальным сочетанием содержащихся в ней растворимых и нерастворимых фракций, стимулирующих как моторику, так и микробную ферментацию (Rybicka A et al., 2024).

Таким образом, современные научные исследования указывают на значительную ценность пищевых волокон в рационах цыплят-бройлеров. Рациональное включение клетчатки способствует укреплению иммунной системы, поддержанию нормального уровня метаболизма и эффективному использованию ресурсов корма (Okrathok S et al., 2023). Научные постулаты позволяют подобрать оптимальный уровень содержания клетчатки, гарантирующий высокие производственные показатели и устойчивость организма птицы к неблагоприятным факторам внешней среды.

Заключение.

Тип клетчатки, уровень включения и размер частиц являются важными факторами, определяющими переваримость питательных веществ. В настоящем исследовании установлено, что снижение размеров волокон имеет большую эффективность в отношении модуляции обменных процессов. Установленный положительный эффект применения пищевых волокон расширяет знания о биологическом воздействии клетчатки на организм цыплят-бройлеров и показывает перспективность их использования в технологических режимах выращивания сельскохозяйственной птицы. Результаты исследования продемонстрировали, что из всех изучаемых добавок наибольшей эффективностью в отношении продуктивного эффекта характеризовалась пшеничная клетчатка. Таким образом, тип клетчатки и размер частиц должны учитываться при использовании лигнинсодержащих кормов, поскольку это – определяющие факторы, влияющие на продуктивность, морфо-

логию кишечника и метаболизм. В данном контексте необходимы дальнейшие исследования для понимания роли пищевых волокон (клетчатки) в матриксе питательных веществ, что предопределяет возможность поиска и включения более дешевых кормовых ингредиентов.

Список источников

1. Влияние пищевых волокон различной природы на рост, переваримость и обмен химических элементов в организме цыплят-бройлеров / В.В. Гречкина, С.В. Лебедев, А.С. Ушаков, Ю.К. Петруша // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 4. С. 136-147. [Grechkina VV, Lebedev SV, Ushakov AS, Petrusha YK. The effect of various fiber types on the growth, digestibility and chemical elements exchange in broiler body. Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(4):136-147. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-4-136
2. ГОСТ 13496.15-2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира. Введ. 2018-01-01. М.: Стандартинформ, 2020. 9 с. [GOST 13496.15-2016. Feeds, mixed feeds, feed raw material. Methods for determining the raw fat content. Vved. 2018-01-01. Moscow: Standartinform; 2020:9 p. (In Russ.)].
3. ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. Введ. 2013-07-01. М.: Стандартинформ, 2012. 8 с. [GOST 31640-2012. Feeds. Methods for determination of dry matter content. Vved. 2013-07-01. Moscow: Standartinform; 2012:8 p. (In Russ.)].
4. ГОСТ 32044.1-2012. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с. [GOST 32044.1-2012. Feeds, mixed feeds and raw material. Determination of mass fraction of nitrogen and calculation of mass fraction of crude protein. Vved. 2014-07-01. Moscow: Standartinform; 2014:12 p. (In Russ.)].
5. Кван О.В., Шейда Е.В., Сизова Е.А. Влияние пищевых волокон на динамику живой массы и гематологические показатели цыплят-бройлеров, находящихся на полусинтетическом рационе // Птицеводство. 2024. № 2. С. 29-34. [Kvan OV, Sheida EV, Sizova EA. The effects of different fiber sources on the dynamics of live bodyweight and hematological parameters in broilers fed semi-synthetic diet. Ptitsevodstvo. 2024;2:29-34. (In Russ.)]. doi: 10.33845/0033-3239-2024-73-2-29-34
6. Комбикорма с разными источниками белка и аминокислот для мясных кур и петухов родительского стада бройлеров / В.И. Фисинин, Т.А. Егорова, И.А. Егоров и др. // Птицеводство. 2023. № 12. С. 43-49. [Fisinin VI, Egorova TA, Egorov IA, et al. Compound feeds with different sources of protein and amino acids for male and female broiler breeders. Ptitsevodstvo. 2023;12:43-49. (In Russ.)]. doi: 10.33845/0033-3239-2023-72-12-43-49
7. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-генетические методы определения микрофлоры кишечника / И.А. Егоров, В.А. Манукян, Т.Н. Ленкова и др. Сергиев Посад: Весь Сергиев Посад, 2013. 51 с. [Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN, et al. Metodika provedeniya nauchnikh i proizvodstvennikh issledovaniy po kormleniyu selskokhozyaistvennoi ptitsi. Molekulyarno-geneticheskie metodi opredeleniya mikroflori kishechnika. Sergiev Posad: Ves' Sergiev Posad; 2013:51 p. (In Russ.)].
8. Продуктивные качества, переваримость кормов и кишечный микробиом у цыплят-бройлеров (*Gallus gallus* L.) при добавлении в рацион нативных и экструдированных углеводных компонентов / Т.Н. Холодилина, Е.В. Яушева, К.В. Рязанцева, Е.А. Сизова, К.С. Нечитайло // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59. № 2. С. 274-288. [Holodilina TN, Yausheva EV, Ryzantseva KV, Sizova EA, Nechitailo KS. Productive performance, feed digestibility and gut microbiome of broiler chickens (*Gallus gallus* L.) fed di-ets with native and extruded carbohydrate containing ingredients. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2024;59(2):274-288. (In Russ.)]. doi: 10.15389/agrobiology.2024.2.274rus doi: 10.15389/agrobiology.2024.2.274eng
9. Фисинин В.И., Егоров И.А. Современные подходы к кормлению высокопродуктивной птицы // Птица и птицепродукты. 2015. № 3. С. 27-29. [Fisinin VI, Egorov IA.

Sovremennye podkhodi k kormleniyu vysokoproduktivnoi ptitsi. Poultry and Chicken Products. 2015;3:27-29. *(In Russ.)*].

10. 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. *Poult Sci.* 2007;86(12):2615-2623. doi: 10.3382/ps.2007-00212

11. Boets E, Gomand SV, Deroover L, Preston T, Vermeulen K, De Preter V, Hamer HM, Van den Mooter G, De Vuyst L, Courtin CM, Annaert P, Delcour JA, Verbeke KA. Systemic availability and metabolism of colonic-derived short-chain fatty acids in healthy subjects: a stable isotope study. *J Physiol.* 2017;595(2):541-555. doi: 10.1113/JP272613

12. Chaplin MF. Fibre and water binding. *Proc Nutr Soc.* 2003;62(1):223-227. doi: 10.1079/pns2002203

13. De Paepe K, Verspreet J, Courtin CM, Van de Wiele T. Microbial succession during wheat bran fermentation and colonisation by human faecal microbiota as a result of niche diversification. *ISME J.* 2020;14(2):584-596. doi: 10.1038/s41396-019-0550-5

14. Donadelli RA, Stone DA, Aldrich CG, Beyer RS. Effect of fiber source and particle size on chick performance and nutrient utilization. *Poult Sci.* 2019;98(11):5820-5830. doi: 10.3382/ps/pez382

15. Ghaffar OR, Khoshnaw DM, Ahmed OR, Aziz SO, Abdollahi A, Mohammed NI, Saleh KK, Ahmad NR, Majeed MM, Muhammad SI, Osman SF, Khdir HA. Supplementing high-fiber olive pomace and multi-enzymes to broiler chicken's diet can improve health and performance. *Trop Anim Health Prod.* 2025;57(2):47. doi: 10.1007/s11250-025-04298-7

16. Hetland H, Svihus B, Krogdahl A. Effects of oat hulls and wood shavings on digestion in broilers and layers fed diets based on whole or ground wheat. *Br Poult Sci.* 2003;44(2):275-282. doi: 10.1080/0007166031000124595

17. Hetland H, Svihus B. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. *Br Poult Sci.* 2001;42(3):354-361. doi: 10.1080/00071660120055331

18. Jaworski NW, Lærke HN, Bach Knudsen KE, Stein HH. Carbohydrate composition and in vitro digestibility of dry matter and nonstarch polysaccharides in corn, sorghum, and wheat and coproducts from these grains. *J Anim Sci.* 2015;93(3):1103-1113. doi: 10.2527/jas.2014-8147

19. Jiménez-Moreno E, de Coca-Sinova A, González-Alvarado JM, Mateos GG. Inclusion of insoluble fiber sources in mash or pellet diets for young broilers. 1. Effects on growth performance and water intake. *Poult Sci.* 2016;95(1):41-52. doi: 10.3382/ps/pev309

20. Karimipour M, Salari S, Aghaei A. Effects of dietary xylanase supplementation and insoluble fiber on growth performance, cecal microbial population and intestinal histomorphology in broiler chickens fed wheat-based diet. *Poult Sci.* 2025;104(11):105749. doi: 10.1016/j.psj.2025.105749

21. Kasireddy B, Lourenco J, Gonzalez-Ortiz G, Bedford MR, Olukosi OA. Growth performance, nutrient utilization, gut integrity, short-chain fatty acids, and gene expression in *Eimeria*-challenged broilers receiving stimbiotics and wheat bran as an additional fiber source. *Poult Sci.* 2025;104(4):104877. doi: 10.1016/j.psj.2025.104877

22. Kheravii SK, Swick RA, Choct M, Wu SB. Effect of oat hulls as a free choice feeding on broiler performance, short chain fatty acids and microflora under a mild necrotic enteritis challenge. *Anim Nutr.* 2018;4(1):65-72. doi: 10.1016/j.aninu.2017.11.003

23. Knudsen KE. 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

24. Letourneau J, Carrion VM, Zeng J, Jiang S, Osborne OW, Holmes ZC, Fox A, Epstein P, Tan CY, Kirtley M, Surana NK, David LA. Interplay between particle size and microbial ecology in the gut microbiome. *ISME J.* 2024;18(1):wrae168. doi: 10.1093/ismejo/wrae168

25. Nguyen N, Jacobs M, Li J, Huang C, Li D, Navarro DMDL, Stein HH, Jaworski NW. Technical note: concentrations of soluble, insoluble, and total dietary fiber in feed ingredients determined using Method AOAC 991.43 are not different from values determined using Method AOAC 2011.43 with the AnkomTDF Dietary Fiber Analyzer. *J Anim Sci.* 2019;97(9):3972-3983. doi: 10.1093/jas/skz239

26. Okrathok S, Sirisopapong M, Mermillod P, Khempaka S. Modified dietary fiber from cassava pulp affects the cecal microbial population, short-chain fatty acid, and ammonia production in broiler chickens. *Poult Sci.* 2023;102(1):102265. doi: 10.1016/j.psj.2022.102265
27. Owusu-Asiedu A, Patience JF, Laarveld B, Van Kessel AG, Simmins PH, Zijlstra RT. Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *J Anim Sci.* 2006;84(4):843-852. doi: 10.2527/2006.844843x
28. Rybicka A, Medel P, Carro MD, García J. Effect of dietary supplementation of two fiber sources differing on fermentability and hydration capacity on performance, nutrient digestibility and cecal fermentation in broilers from 1 to 42 d of age. *Poult Sci.* 2024;103(9):103957. doi: 10.1016/j.psj.2024.103957
29. Sacranie A, Svihus B, Denstadli V, Moen B, Iji PA, Choct M. The effect of insoluble fiber and intermittent feeding on gizzard development, gut motility, and performance of broiler chickens. *Poult Sci.* 2012;91(3):693-700. doi: 10.3382/ps.2011-01790
30. Sadeghi A, Toghyani M, Gheisari A. Effect of various fiber types and choice feeding of fiber on performance, gut development, humoral immunity, and fiber preference in broiler chicks. *Poult Sci.* 2015;94(11):2734-2743. doi: 10.3382/ps/pev292
31. Sklan D, Smirnov A, Plavnik I. The effect of dietary fibre on the small intestines and apparent digestion in the turkey. *Br Poult Sci.* 2003;44(5):735-740. doi: 10.1080/00071660310001643750
32. Stewart ML, Slavin JL. Particle size and fraction of wheat bran influence short-chain fatty acid production in vitro. *Br J Nutr.* 2009;102(10):1404-1407. doi: 10.1017/S0007114509990663
33. Tejeda OJ, Kim WK. Role of dietary fiber in poultry nutrition. *Animals (Basel).* 2021;11(2):461. doi: 10.3390/ani11020461
34. Tejeda OJ, Kim WK. The effects of cellulose and soybean hulls as sources of dietary fiber on the growth performance, organ growth, gut histomorphology, and nutrient digestibility of broiler chickens. *Poult Sci.* 2020;99(12):6828-6836. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.081
35. Tuncil YE, Thakkar RD, Marcia ADR, Hamaker BR, Lindemann SR. Divergent short-chain fatty acid production and succession of colonic microbiota arise in fermentation of variously-sized wheat bran fractions. *Sci Rep.* 2018;8(1):16655. doi: 10.1038/s41598-018-34912-8

References

1. Grechkina VV, Lebedev SV, Ushakov AS, Petrusha YK. The effect of various fiber types on the growth, digestibility and chemical elements exchange in broiler body. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2021;104(4):136-147. doi: 10.33284/2658-3135-104-4-136
2. State Standard 13496.15-2016. Feeds, mixed feeds, feed raw material. Methods for determining the raw fat content. Implementation date 2018-01-01. Moscow: Standartinform; 2020:9 p.
3. State Standard 31640-2012. Feeds. Methods for determination of dry matter content. Implementation date 2013-07-01. Moscow: Standartinform; 2020:8 p.
4. State Standard 32044.1-2012. Feeds, mixed feeds and raw material. Determination of mass fraction of nitrogen and calculation of mass fraction of crude protein. Implementation date 2014-07-01. Moscow: Standartinform; 2014:12 p.
5. Kvan OV, Sheida EV, Sizova EA. The effects of different fiber sources on the dynamics of live bodyweight and hematological parameters in broilers fed semi-synthetic diet. *Poultry Farming.* 2024;2:29-34. doi: 10.33845/0033-3239-2024-73-2-29-34
6. Fisinin VI, Egorova TA, Egorov IA, et al. Compound feeds with different sources of protein and amino acids for male and female broiler breeders. *Poultry Farming.* 2023;12:43-49. doi: 10.33845/0033-3239-2023-72-12-43-49
7. Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN, et al. Methodology for conducting scientific and industrial research on poultry feeding. Molecular and genetic methods for determining intestinal microflora. *Sergiev Posad: Ves' Sergiev Posad;* 2013:51 p.

8. Holodilina TN, Yausheva EV, Ryazantceva KV, Sizova EA, Nechitailo KS. Productive performance, feed digestibility and gut microbiome of broiler chickens (*Gallus gallus* L.) fed diets with native and extruded carbohydrate containing ingredients. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2024;59(2):274-288. doi: 10.15389/agrobiology.2024.2.274rus doi: 10.15389/agrobiology.2024.2.274eng
9. Fisinin VI, Egorov IA. Modern approaches to feeding high-yielding poultry. Poultry and Chicken Products. 2015;3:27-29.
10. 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. Poult Sci. 2007;86(12):2615-2623. doi: 10.3382/ps.2007-00212
11. Boets E, Gomand SV, Deroover L, Preston T, Vermeulen K, De Preter V, Hamer HM, Van den Mooter G, De Vuyst L, Courtin CM, Annaert P, Delcour JA, Verbeke KA. Systemic availability and metabolism of colonic-derived short-chain fatty acids in healthy subjects: a stable isotope study. J Physiol. 2017;595(2):541-555. doi: 10.1113/JP272613
12. Chaplin MF. Fibre and water binding. Proc Nutr Soc. 2003;62(1):223-227. doi: 10.1079/pns2002203
13. De Paepe K, Verspreet J, Courtin CM, Van de Wiele T. Microbial succession during wheat bran fermentation and colonisation by human faecal microbiota as a result of niche diversification. ISME J. 2020;14(2):584-596. doi: 10.1038/s41396-019-0550-5
14. Donadelli RA, Stone DA, Aldrich CG, Beyer RS. Effect of fiber source and particle size on chick performance and nutrient utilization. Poult Sci. 2019;98(11):5820-5830. doi: 10.3382/ps/pez382
15. Ghaffar OR, Khoshnaw DM, Ahmed OR, Aziz SO, Abdollahi A, Mohammed NI, Saleh KK, Ahmad NR, Majeed MM, Muhammad SI, Osman SF, Khdir HA. Supplementing high-fiber olive pomace and multi-enzymes to broiler chicken's diet can improve health and performance. Trop Anim Health Prod. 2025;57(2):47. doi: 10.1007/s11250-025-04298-7
16. Hetland H, Svihus B, Krogdahl A. Effects of oat hulls and wood shavings on digestion in broilers and layers fed diets based on whole or ground wheat. Br Poult Sci. 2003;44(2):275-282. doi: 10.1080/0007166031000124595
17. Hetland H, Svihus B. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. Br Poult Sci. 2001;42(3):354-361. doi: 10.1080/00071660120055331
18. Jaworski NW, Lærke HN, Bach Knudsen KE, Stein HH. Carbohydrate composition and in vitro digestibility of dry matter and nonstarch polysaccharides in corn, sorghum, and wheat and coproducts from these grains. J Anim Sci. 2015;93(3):1103-1113. doi: 10.2527/jas.2014-8147
19. Jiménez-Moreno E, de Coca-Sinova A, González-Alvarado JM, Mateos GG. Inclusion of insoluble fiber sources in mash or pellet diets for young broilers. 1. Effects on growth performance and water intake. Poult Sci. 2016;95(1):41-52. doi: 10.3382/ps/pev309
20. Karimipour M, Salari S, Aghaei A. Effects of dietary xylanase supplementation and insoluble fiber on growth performance, cecal microbial population and intestinal histomorphology in broiler chickens fed wheat-based diet. Poult Sci. 2025;104(11):105749. doi: 10.1016/j.psj.2025.105749
21. Kasireddy B, Lourenco J, Gonzalez-Ortiz G, Bedford MR, Olukosi OA. Growth performance, nutrient utilization, gut integrity, short-chain fatty acids, and gene expression in Eimeria-challenged broilers receiving stimbiotics and wheat bran as an additional fiber source. Poult Sci. 2025;104(4):104877. doi: 10.1016/j.psj.2025.104877
22. Kheravii SK, Swick RA, Choct M, Wu SB. Effect of oat hulls as a free choice feeding on broiler performance, short chain fatty acids and microflora under a mild necrotic enteritis challenge. Anim Nutr. 2018;4(1):65-72. doi: 10.1016/j.aninu.2017.11.003
23. Knudsen KE. 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

24. Letourneau J, Carrion VM, Zeng J, Jiang S, Osborne OW, Holmes ZC, Fox A, Epstein P, Tan CY, Kirtley M, Surana NK, David LA. Interplay between particle size and microbial ecology in the gut microbiome. *ISME J.* 2024;18(1):wrae168. doi: 10.1093/ismejo/wrae168
25. Nguyen N, Jacobs M, Li J, Huang C, Li D, Navarro DMDL, Stein HH, Jaworski NW. Technical note: concentrations of soluble, insoluble, and total dietary fiber in feed ingredients determined using Method AOAC 991.43 are not different from values determined using Method AOAC 2011.43 with the AnkomTDF Dietary Fiber Analyzer. *J Anim Sci.* 2019;97(9):3972-3983. doi: 10.1093/jas/skz239
26. Okrathok S, Sirisopapong M, Mermillod P, Khempaka S. Modified dietary fiber from cassava pulp affects the cecal microbial population, short-chain fatty acid, and ammonia production in broiler chickens. *Poult Sci.* 2023;102(1):102265. doi: 10.1016/j.psj.2022.102265
27. Owusu-Asiedu A, Patience JF, Laarveld B, Van Kessel AG, Simmins PH, Zijlstra RT. Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *J Anim Sci.* 2006;84(4):843-52. doi: 10.2527/2006.844843x
28. Rybicka A, Medel P, Carro MD, García J. Effect of dietary supplementation of two fiber sources differing on fermentability and hydration capacity on performance, nutrient digestibility and cecal fermentation in broilers from 1 to 42 d of age. *Poult Sci.* 2024;103(9):103957. doi: 10.1016/j.psj.2024.103957
29. Sacranie A, Svihus B, Denstadli V, Moen B, Iji PA, Choct M. The effect of insoluble fiber and intermittent feeding on gizzard development, gut motility, and performance of broiler chickens. *Poult Sci.* 2012;91(3):693-700. doi: 10.3382/ps.2011-01790
30. Sadeghi A, Toghyani M, Gheisari A. Effect of various fiber types and choice feeding of fiber on performance, gut development, humoral immunity, and fiber preference in broiler chicks. *Poult Sci.* 2015;94(11):2734-2743. doi: 10.3382/ps/pev292
31. Sklan D, Smirnov A, Plavnik I. The effect of dietary fibre on the small intestines and apparent digestion in the turkey. *Br Poult Sci.* 2003;44(5):735-740. doi: 10.1080/00071660310001643750
32. Stewart ML, Slavin JL. Particle size and fraction of wheat bran influence short-chain fatty acid production in vitro. *Br J Nutr.* 2009;102(10):1404-1407. doi: 10.1017/S0007114509990663
33. Tejeda OJ, Kim WK. Role of dietary fiber in poultry nutrition. *Animals (Basel).* 2021;11(2):461. doi: 10.3390/ani11020461
34. Tejeda OJ, Kim WK. The effects of cellulose and soybean hulls as sources of dietary fiber on the growth performance, organ growth, gut histomorphology, and nutrient digestibility of broiler chickens. *Poult Sci.* 2020;99(12):6828-6836. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.081
35. Tuncil YE, Thakkar RD, Marcia ADR, Hamaker BR, Lindemann SR. Divergent short-chain fatty acid production and succession of colonic microbiota arise in fermentation of variously-sized wheat bran fractions. *Sci Rep.* 2018;8(1):16655. doi: 10.1038/s41598-018-34912-8

Информация об авторах:

Александр Андреевич Тишин, лаборант исследователь отдела физиологии, биохимии и морфологии животных, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 89878886665.

Юрий Константинович Петруша, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 89058877200.

Святослав Валерьевич Лебедев, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 89123458738.

Information about the authors:

Alexander A Tishin, Research Assistant at the Department of Physiology, Biochemistry, and Animal Morphology Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, Russia, 29, 9 Yanvarya St., tel.: 89878886665.

Yuriy K Petrusha, Cand. Sci. (Biology), Junior Researcher at the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, Russia, 29, 9 Yanvarya St., tel.: 89058877200.

Svyatoslav V Lebedev, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, Russia, 29, 9 Yanvarya St., tel.: 89123458738.

Статья поступила в редакцию 26.03.2026; одобрена после рецензирования 22.04.2026; принята к публикации 15.06.2026.

The article was submitted 26.03.2026; approved after reviewing 22.04.2026; accepted for publication 15.06.2026.