

Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104, № 4. С. 136-147.  
Animal Husbandry and Fodder Production. 2021. Vol. 104, no 4. P. 136-147.

Научная статья  
УДК 636.5:631.572  
doi:10.33284/2658-3135-104-4-136

### Влияние пищевых волокон различной природы на рост, переваримость и обмен химических элементов в организме цыплят-бройлеров

Виктория Владимировна Гречкина<sup>1,5</sup>, Святослав Валерьевич Лебедев<sup>2</sup>, Александр Сергеевич Ушаков<sup>3</sup>, Юрий Константинович Петруша<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

<sup>5</sup>Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр животноводства-ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», Боровск, Россия

<sup>1,5</sup>Viktoria1985too@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>

<sup>2</sup>lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

<sup>3</sup>asu2004@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5253-6083>

<sup>4</sup>shadow752@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8283-2972>

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние пищевых волокон на использование питательных веществ, развитие и рост, а также обмен химических элементов в организме цыплят. Экспериментальное исследование было проведено на цыплятах-бройлерах кросса Арбор-Айкрес. Бройлерам I опытной группы вводили нерастворимые пищевые волокна Арбоцел, а птице II опытной группы – растворимые Целлюлозу в дозе 1 г/кг корма, продолжительностью 28 суток. В эксперименте установлено, что включение целлюлозы сопровождалось увеличением переваримости сухого вещества – 14,1% (P<0,01), органического вещества – 13% (P<0,01), сырого протеина – 10,5% (P<0,01), углеводов – 13,7% (P<0,01), сырого жира – 16,5% (P<0,01).

Включение в рацион нерастворимых пищевых волокон выражалось снижением уровня в организме Cr, Cu, Fe, I, Ni, увеличением B, Na, Al, Sn. Кумуляцией Li, Sn и снижением накопления Cu, Mn, Al характеризовалась II опытная группа.

Проведённый корреляционный анализ между биохимическими параметрами крови и минеральными веществами установил положительную связь в I опытной группе: Fe, липазы и АЛТ (r=0,54), B и АЛТ (r=0,51), липазой и АЛТ (r=0,54), V и АЛТ (r=0,54), P и АЛТ (r=0,58), Cd и АЛТ (r=0,65), альбумином и Si (r=0,63), Sn (r=0,80), (-) глюкоза и Fe (r=-0,54), P (r=-0,59). II опытная: (+) АЛТ и холестерина (r=0,72), P (r=0,64), АСТ и триглицеридами (r=0,71), As (r=0,52) и Mg (r=0,53), (-) мочевины с Cr (r=-0,65), Hg (r=-0,54) и Pb (r=-0,81).

Результаты, полученные при использовании пищевых волокон, зависят от таких факторов, как тип волокна, уровень включения, физиологического состояния птицы и состава корма. Крайне важно иметь в виду, что клетчатка должна использоваться как функциональное питательное вещество, а не как питательное вещество само по себе, и при использовании волокнистых кормов следует вносить соответствующие поправки в кормление с точки зрения энергии, белка и их соотношений.

**Ключевые слова:** цыплята-бройлеры, кормление, пищевые волокна, желудочно-кишечный тракт, микроэлементы, переваримость, рост, развитие

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 21-16-00009.

**Для цитирования:** Гречкина В.В., Лебедев С.В., Ушаков А.С., Петруша Ю.К. Влияние пищевых волокон различной природы на рост, переваримость и обмен химических элементов в организме цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104, № 4. С. 136-147. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-136>

Original article

### The effect of various fiber types on the growth, digestibility and chemical elements exchange in broiler body

Victoria V Grechkina<sup>1,5</sup>, Svyatoslav V Lebedev<sup>2</sup>, Alexander S Ushakov<sup>3</sup>, Yuriy K Petrushe<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

<sup>5</sup>Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

<sup>3</sup>Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Agricultural Animals – a branch of Federal public budgetary scientific institution "Federal Research Centre of Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst", Borovsk, Russia

<sup>1,5</sup>Viktoria1985too@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>

<sup>2</sup>lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

<sup>3</sup>asu2004@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5253-6083>

<sup>4</sup>shadow752@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8283-2972>

**Abstract.** The article examines the effect of fiber on the use of nutrients, development and growth, as well as chemical elements exchange in broiler body. An experimental study was conducted on Arbor

Acres crosses. The broilers of the I experimental group were injected with insoluble fiber Arbocel. The poultry of the II experimental group were injected with soluble Cellulose at a dose of 1 g per 1 kg of feed. The duration consisted of 28 days. The experiment found that the inclusion of cellulose was accompanied by an increase in the digestibility of dry matter – 14,1% ( $P \leq 0,01$ ), organic matter – 13% ( $P \leq 0,01$ ), crude fat – 16,5% ( $P \leq 0,01$ ), crude protein – 10,5% ( $P \leq 0,01$ ), carbohydrates – 13,7% ( $P \leq 0,01$ ).

The inclusion of insoluble fiber in the diet was expressed by a decrease in the level of Cr, Cu, Fe, I, Ni in the body, an increase in B, Na, Al, Sn. The II experimental group was characterized by accumulation of Li, Sn and a decrease in the accumulation of Cu, Mn, Al.

The correlation analysis between the biochemical parameters of blood and minerals established a positive relationship in the I experimental group: Fe, lipase and ALT ( $r=0,54$ ), B and ALT ( $r=0,51$ ), lipase and ALT ( $r=0,54$ ), V and ALT ( $r=0,54$ ), P and ALT ( $r=0,58$ ), Cd and ALT ( $r=0,65$ ), albumin and Si ( $r=0,63$ ), Sn ( $r=0,80$ ), (-) glucose and Fe ( $r=-0,54$ ), P ( $r=-0,59$ ). There are in II experimental group: (+) ALT and cholesterol ( $r=0,72$ ), P ( $r=0,64$ ), AST and triglycerides ( $r=0,71$ ), As ( $r=0,52$ ) and Mg ( $r=0,53$ ), (-) urea with Cr ( $r=-0,65$ ), Hg ( $r=-0,54$ ) and Pb ( $r=-0,81$ ).

The results obtained when using fiber depend on factors such as the type of fiber, the level of inclusion, the physiological state and the feed composition. It is extremely important to keep in mind that fiber should be used as a functional nutrient. When using fiber feeds, appropriate adjustments should be made to feed-lot farm in terms of energy, protein and their ratios.

**Keywords:** broilers, feeding, dietary fiber, digestive duct, trace elements, digestibility, growth, development

**Acknowledgments:** the work was supported by the Russian Science Foundation, Project № 21-16-00009.

**For citation:** Grechkina VV, Lebedev SV, Ushakov AS, Petrusha YuK. 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.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-136>

### Введение.

Пищевые волокна, углеводные полимеры, которые не перевариваются и не усваиваются, подвергаются бактериальной ферментации в желудочно-кишечном тракте и влияют на состав бактериальных сообществ, а также на метаболическую активность микроорганизмов, включая производство ферментативных конечных продуктов (Holscher HD et al., 2015; Celi P et al., 2017; Abdollahi MR et al., 2019).

Физико-химические характеристики волокон включают ферментируемость, растворимость и вязкость, и эти свойства влияют не только на ферментацию, но и на переваримость корма (Jha R et al., 2019). Нерастворимые волокна плохо ферментируются кишечными микробами, но их присутствие в рационе увеличивает скорость кишечного транзита и, таким образом, сокращает время, доступное для бактериальной ферментации толстой кишки непереваренных пищевых продуктов (Liu B et al., 2018; Koçer B et al., 2021).

Пищевые волокна (ПВ) считались антипитательным фактором из-за их неблагоприятного влияния на потребление корма и усвояемость питательных веществ. При этом установлено, что ПВ оказывают огромное влияние на развитие желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), физиологию пищеварения, включая переваривание питательных веществ, ферментацию и процессы всасывания птицы (Pedersen NR et al., 2017; Sadeghi A et al., 2020). Это может помочь сохранить целостность тонкой и толстой кишки за счёт укрепления структуры и функций слизистой оболочки и увеличения популяции и разнообразия комменсальных бактерий в ЖКТ. Увеличение содержания ПВ благотворно влияет на физиологию пищеварения, стимулируя развитие ЖКТ и выработку ферментов. А включение клетчатки в рацион на умеренном уровне также изменяет показатели роста птицы, улучшает здоровье кишечника, модулируя полезную микробиоту в толстой кишке и усиливая иммунные функции (Goldsmith JR et al., 2014; Sonnenburg JL et al., 2016).

В связи с запретом или строгим регулированием использования в кормах антибиотиков в качестве стимуляторов роста у птицы наблюдается рост заболеваемости кишечными расстройствами (Li Y et al., 2018; Lebedev S et al., 2020; Grechkina VV et al., 2021). Поэтому исследователи работают над поиском альтернатив антибиотикам, скармливая легкоусвояемые ингредиенты, ферментные добавки и используя различные методы обработки кормов для улучшения показателей роста птиц после введения антибиотиков. Скармливание умеренного количества волокон в рационах рассматривалось как одна из предложенных альтернатив для улучшения усвояемости питательных веществ и показателей роста в связи с их ролью в развитии ЖКТ и для изменения характеристик содержимого кишечника (Kimiaetalab MV et al., 2018; Akbaryan M et al., 2019).

**Цель исследования.**

Провести сравнительное изучение биологических эффектов, связанных с включением пищевых волокон разной растворимости в рацион цыплят-бройлеров.

**Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Цыплята-бройлеры кросса Арбор Айкирес.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР No 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

**Схема эксперимента.** Исследования проведены в условиях лаборатории биологических испытаний и экспертиз ФНИЦ БСТ РАН и ЗАО «Птицефабрика Оренбургская» ([www.pfo56.ru](http://www.pfo56.ru)). Для проведения исследований методом групп-аналогов из 7-суточных цыплят-бройлеров массой 160-180 г сформировали 3 группы. Контрольная птица получала основной рацион, соответствующий по питательности рекомендациям ВНИИТИП.

Бройлеры I опытной группы в качестве источника нерастворимых пищевых волокон получали Арбоцел в дозе 1 г/кг корма, птице Попытной группы в качестве растворимых источников пищевых волокон вводили Целлюлозу в дозе 1 г/кг корма («J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH+Co», Германия). Продолжительность эксперимента – 28 суток.

Кормление осуществлялось 2 раза в сутки, учёт кормов – ежесуточно. Микроклимат в помещении соответствовал ОНТП-4-88. Контроль над ростом особей осуществлялся еженедельно путём взвешивания каждой головы утром до кормления. Изучение обмена веществ и питательной ценности рационов проводилось в процессе балансовых опытов по методикам ВНИИТИП (Егоров И.А. и др., 2016).

**Оборудование и технические средства.** Химический состав помёта, кормов и тканей тела бройлеров определяли по стандартизированным методикам (ГОСТ 31640-2012, ГОСТ 32044.1.2012, ГОСТ 13496.15-97, ГОСТ 51479-99, ГОСТ 23042-86, ГОСТ 25011-81, ГОСТ Р 53642-2009) в ЦКП БСТ РАН (<https://xn---btbumgw.xn--plai/>). Для оценки элементного состава проведена анатомическая разделка тушек с последующим измельчением и озолением Multiwave 3000 («AntonPaar», Австрия). Макро- и микроэлементный анализ исследовали методами атомно-эмиссионной спектроскопии Optima 2000 V («Perkin Elmer», США) и масс-спектрометрии Elan 9000 («PerkinElmer», США). Кровь отбирали в вакуумные пробирки с активатором свертывания (тромбин). Биохимический анализ сыворотки крови – на автоматическом анализаторе CS-T240 («DIRUI Industrial Co., Ltd», Китай) с коммерческими наборами для ветеринарии (ЗАО «ДИАКОН-ДС», Россия).

**Статистическая обработка.** Основные данные были подвергнуты статистической обработке с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Достоверными считали значения при  $P \leq 0,05$ ;  $P \leq 0,01$ ;  $P \leq 0,001$ .

**Результаты исследований.**

Результаты исследования показали, что расход корма на прирост 1 кг живой массы в I опытной группе сократился на 3,91 %, во II опытной группе – на 8,94 % по сравнению с контрольной группой за счёт увеличения показателей среднесуточного и абсолютного прироста на 32,8 % ( $P \leq 0,05$ ) и 33,6 % ( $P \leq 0,05$ ) во II опытной группе соответственно.

Таблица 1. Зоотехнические показатели выращивания цыплят-бройлеров при включении в рацион пищевых волокон, ( $x \pm Sx$ )  
Table 1. Zootechnic indicators of broilers growing when dietary fiber is included in the diet, ( $x \pm Sx$ )

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	контрольная /control	I опытная / Group I	II опытная / Group II
Начало опыта /The beginning of the experience	185,20 $\pm$ 5,39	185,20 $\pm$ 3,93	185,20 $\pm$ 3,87
7 суток / 7 days	304,40 $\pm$ 38,87	313,60 $\pm$ 8,28	392,40 $\pm$ 15,00
14 суток / 14 days	554,40 $\pm$ 69,87	560,80 $\pm$ 26,63	741,60 $\pm$ 46,27
21 суток / 21 days	959,60 $\pm$ 106,46	944,40 $\pm$ 55,71	1 316,80 $\pm$ 77,17*
28 суток / 28 days	1530,00 $\pm$ 122,56	1 522,00 $\pm$ 108,50	1 971,60 $\pm$ 98,24*
Среднесуточный прирост, г/гол./сут /Average daily increase, g/head/day	64,04 $\pm$ 5,84	63,66 $\pm$ 5,17	85,05 $\pm$ 4,68*
Абсолютный прирост, кг/гол./опыт / Absolute gain, kg/head/experience	1,34 $\pm$ 0,12	1,34 $\pm$ 0,11	1,79 $\pm$ 0,10*
Поедаемость, кг/гол./опыт /Palatability, kg/head/experience	2,41 $\pm$ 0,22	2,31 $\pm$ 0,19	2,91 $\pm$ 0,16
Расход корма на прирост 1 кг живой массы, кг/гол. / Feed consumption for an increase of 1 kg of live weight, kg/head	1,79	1,72	1,63

Живая масса у цыплят II опытной группы превосходила птицу контроля и I опытной группы на 28 сутки на 28,9 % ( $P \leq 0,05$ ) по сравнению с контрольной группой (рис. 1).

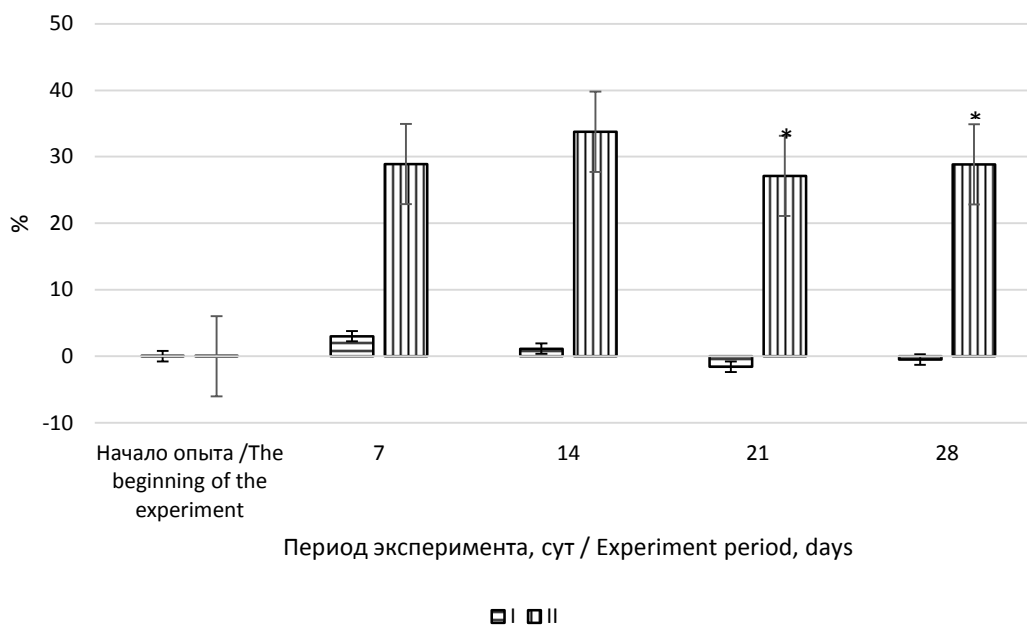
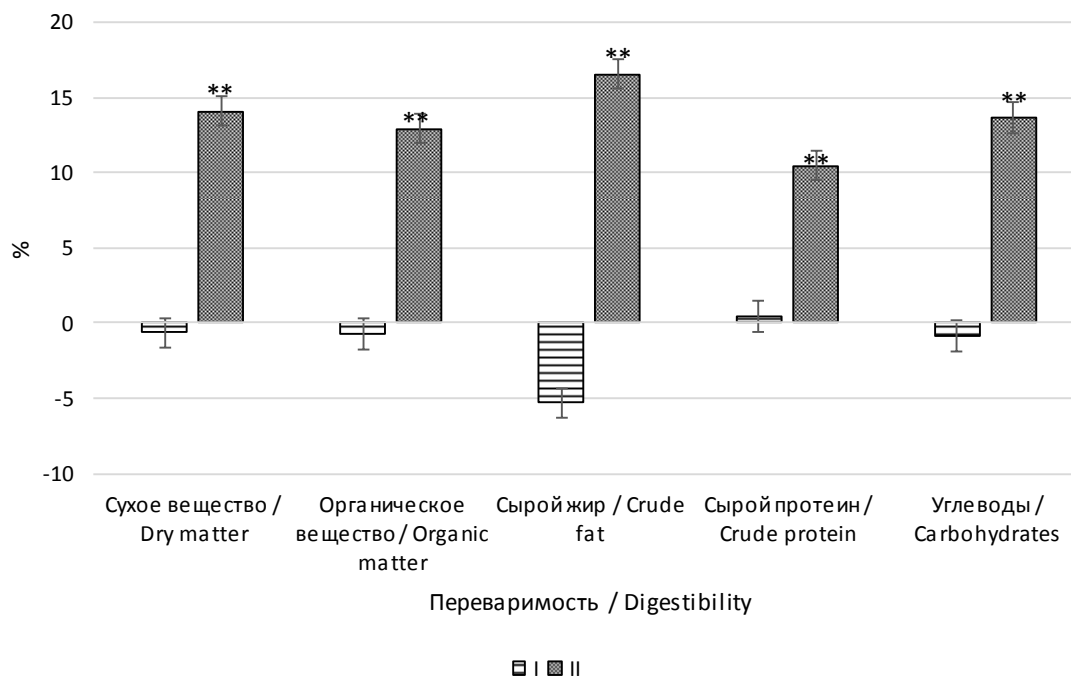


Рис. 1 – Разница по динамике роста цыплят-бройлеров опытных групп с контрольной, %  
Figure 1 – The broilers growth dynamics difference between groups I and II and the control group, %

Примечание: \* – различия с контролем достоверны при  $P \leq 0,05$

Note: \* – differences with control are significant at  $P \leq 0.05$

При введении в рацион цыплятам-бройлерам Арбоцели Целлюлозу в дозе 1 г/кг корма регистрировалось изменение показателей переваримости корма (рис. 2). Переваримость сырого жира в I опытной группе снизилась на 5,3 %, переваримость сухого вещества, органического вещества и углеводов снизились менее чем на 0,85 %.



**Рис. 2 – Разница I и II опытных групп с контрольной по переваримости у цыплят-бройлеров, %**  
**Figure 2 – The digestibility difference between groups I and II and the control group of broilers, %**

Примечание: \* – различия с контролем достоверны при  $P \leq 0,01$

Note: \* – differences with control are significant at  $P \leq 0.01$

Во II опытной группе по сравнению с контрольной группой переваримость сухого вещества увеличилась на 14,1 % ( $P \leq 0,01$ ), органического вещества – на 13 % ( $P \leq 0,01$ ), сырого жира – на 16,5 % ( $P \leq 0,01$ ), сырого протеина – на 10,5 % ( $P \leq 0,01$ ) и углеводов – на 13,7 % ( $P \leq 0,01$ ).

В проведённых исследованиях была рассчитана корреляционная зависимость между биохимическими параметрами крови у экспериментальных цыплят-бройлеров, которая указывала на наличие положительной взаимосвязи в I опытной группе цыплят-бройлеров между уровнем железа, липазы и АЛТ ( $r=0,54$ ), В и АЛТ ( $r=0,51$ ), липазой и АЛТ ( $r=0,54$ ), V и АЛТ ( $r=0,54$ ), P и АЛТ ( $r=0,58$ ), Cd и АЛТ ( $r=0,65$ ), между АСТ и Mg, Co, где  $r=0,67$ ;  $r=0,74$  соответственно.

Во II опытной группе была обнаружена отрицательная взаимосвязь между АЛТ и Cr ( $r=-0,60$ ), остальные связи имели положительный эффект: АЛТ и холестерином ( $r=0,72$ ), P ( $r=0,64$ ). Умеренная положительная связь отмечена между ферментом АСТ и триглицеридами ( $r=0,71$ ), As ( $r=0,52$ ) и Mg ( $r=0,53$ ).

Количество связей в I опытной группе установлено между общим белком и I ( $r=0,54$ ), Ca ( $r=0,52$ ), Hg ( $r=0,77$ ). Во II опытной группе цыплят прослеживалась, наоборот, больше отрицательная взаимосвязь общего белка с Cr ( $r=-0,55$ ), Li ( $r=-0,71$ ), K ( $r=-0,68$ ) и только с Fe ( $r=0,50$ ) установлен умеренный коэффициент положительной корреляции.

Взаимосвязь глюкозы можно охарактеризовать как заметную и обратную, поскольку коэффициент корреляции отрицателен с Fe ( $r=-0,54$ ), P ( $r=-0,59$ ) в I опытной группе, во II опытной отрицательный эффект был значительно выше с холестерином ( $r=-0,72$ ) и Zn ( $r=-0,53$ ).

Высокая положительная корреляционная зависимость наблюдается между альбумином и Si ( $r=0,63$ ), Sn ( $r=0,80$ ) в I опытной группе, во II группе I ( $r=0,71$ ) и Mn ( $r=0,65$ ). Отрицательная связь наблюдается в опытных группах между показателями липидного обмена. В I и II опытной группе холестерин и Cu ( $r=-0,59$ ), триглицериды и Ca ( $r=-0,51$ ), Si ( $r=-0,52$ ), Zn ( $r=-0,79$ ) и Hg ( $r=-0,64$ ).

Положительная корреляция супероксиддисмутазы была обнаружена во II опытной группе с As ( $r=0,69$ ), B ( $r=0,50$ ), Mg ( $r=0,82$ ), P ( $r=0,61$ ) и Sn ( $r=0,85$ ). I опытная группа цыплят контрольная коррелировали в отрицательной связи СОД и Cu и As ( $r=-0,61$ ).

Уровень амилазной активности сопровождался в I опытной группе получением положительных связей между  $\alpha$ -амилазой и B ( $r=0,54$ ), Fe ( $r=0,78$ ), II опытная группа с малоновым диальдегидом ( $r=0,86$ ), P ( $r=0,64$ ), Cd ( $r=0,60$ ).

Согласно полученным данным, активность каталазы сопровождалась положительным коэффициентом корреляции в контрольной группе Al ( $r=0,82$ ), в I опытной – K ( $r=0,62$ ), Mg ( $r=0,70$ ), во II опытной группе цыплят – Co ( $r=0,62$ ), Ni ( $r=0,51$ ), Zn ( $r=0,63$ ), Na ( $r=0,57$ ), Cd ( $r=0,62$ ), Pb ( $r=0,63$ ). Активность липазы во всех опытных группах сопровождалась положительным взаимодействием: в контроле обнаружена одна связь липаза и каталаза ( $r=0,65$ ), в I опытной группе – связь липаза и Li ( $r=0,62$ ), Sr ( $r=0,71$ ), V ( $r=0,82$ ), во II опытной группе – липаза и Ca ( $r=0,74$ ), Al ( $r=0,89$ ) и одна отрицательная связь липаза и Cd ( $r=-0,51$ ). Это связано с деятельностью микрофлоры, под влиянием липолитической активности которой происходит липолиз основного количества кормовых липидов.

В нашем эксперименте высокий коэффициент положительной корреляции установлен между количеством общего и прямого билирубина. Контрольная группа отличалась от опытных групп положительными связями общий билирубин и триглицериды ( $r=0,55$ ), мочевая кислота ( $r=0,59$ ) и отрицательной с V ( $r=-0,53$ ). В I опытной группе общий билирубин имел положительную взаимосвязь с Ca ( $r=0,69$ ), Zn ( $r=0,86$ ), во II опытной группе – триглицериды ( $r=0,74$ ), Na ( $r=0,73$ ), P ( $r=0,63$ ), Cd ( $r=0,53$ ). При этом отрицательная связь была с Cu ( $r=-0,50$ ), Se ( $r=-0,61$ ) и Ca ( $r=-0,89$ ).

Прямой билирубин, прошедший через печень и связавшийся с глюкуроновой кислотой, следовательно, потерявший токсичность, имел положительные корреляционные связи с Fe ( $r=0,53$ ), липазой ( $r=0,60$ ), Mn ( $r=0,52$ ), Se ( $r=0,55$ ), K ( $r=0,59$ ). В I и II опытных группах была обнаружена умеренная отрицательная взаимосвязь прямого билирубина с мочевой кислотой ( $r=-0,55$ ) и Ca ( $r=-0,79$ ) соответственно.

Мочевина является конечным продуктом белкового распада. Она синтезируется в печени при обезвреживании аммиака. Корреляционная взаимосвязь была обнаружена между мочевиной и I ( $r=0,83$ ) и Mg ( $r=-0,55$ ) в контрольной группе цыплят. Мочевина в первую очередь является индикатором работы почек. Наибольшее количество взаимосвязей было установлено в I опытной группе: мочевина и липаза ( $r=0,67$ ), Li ( $r=0,56$ ), Mn ( $r=0,68$ ), V ( $r=0,50$ ), во II опытной группе мочевина положительно коррелировала с P ( $r=0,83$ ), что говорит о сильной связи данных показателей. Также II опытная группа отличалась высокой отрицательной взаимосвязью мочевины с Cr ( $r=-0,65$ ), Hg ( $r=-0,54$ ) и Pb ( $r=-0,81$ ).

Отрицательная связь между мочевой кислотой и Fe ( $r=-0,52$ ) установилась в контроле. Во II опытной группе мочевая кислота коррелирует с СОД ( $r=0,85$ ), As ( $r=0,82$ ), B ( $r=0,58$ ), Mg ( $r=0,91$ ), Sn ( $r=0,84$ ), в I опытной группе цыплят-бройлеров корреляционных связей не обнаружено.

Количество корреляционных зависимостей наблюдалось между минеральными веществами Co и Fe ( $r=0,83$ ), Mn ( $r=-0,57$ ), Se ( $r=0,51$ ) в контрольной группе. Во II опытной группе – Co и Cr ( $r=0,61$ ), Se ( $r=-0,50$ ), Pb ( $r=0,50$ ) и Sr ( $r=0,68$ ). Более высокий коэффициент корреляции наблюдается между Fe и Mg ( $r=-0,56$ ), Pb и Sn ( $r=0,52$ ) в I опытной группе. Fe во II опытной группе коррелировало с I ( $r=0,76$ ) и Zn ( $r=0,52$ ).

Расчёт коэффициентов корреляции Al, Cu, Se, Cr, Si, As, Mg, Na, Zn, B, Ni, показал, что все выявленные корреляционные взаимосвязи между биохимическими показателями крови были положительными. Отрицательная корреляция была в I опытной группе между Zn и Al ( $r=-0,66$ ), Hg ( $r=-0,59$ ), во II опытной группе – между Cu и Ni ( $r=-0,58$ ), Cr и Cd ( $r=-0,58$ ), Sr и Se ( $r=-0,52$ ), V ( $r=-0,57$ ).

Таким образом, проведённый корреляционный анализ показывает, что связь между биохимическими параметрами крови и минеральными веществами в большинстве выявленных случаях значима.

### **Обсуждение полученных результатов.**

Уникальная способность клетчатки избегать переваривания и всасывания обеспечивает возможность взаимодействовать с питательными веществами пищеварительного тракта и модулировать общую активность органов пищеварения, что приводит к изменениям в использовании питательных веществ и показателях роста (Williams BA et al., 2017, Slama J et al., 2019, Sheida EV et al., 2021). Использование растворимой целлюлозы увеличило переваримость органического вещества на 13 % ( $P \leq 0,01$ ), сырого жира – 16,5 % ( $P \leq 0,01$ ) и сырого протеина – 10,5 % ( $P \leq 0,01$ ).

Изменения, которые происходили во II опытной группе цыплят, согласовывались с данными, полученными Zhang J с коллегами. (2020), в которых присутствие растворимых пищевых волокон, таких как целлюлоза, оказывали влияние на размер тонкой кишки и поджелудочной железы, что может привести к улучшению общего удержания питательных веществ в желудочно-кишечном тракте. Потребление растворимых пищевых волокон способствует производству полезных соединений во время их ферментации в желудочно-кишечном тракте. Из результатов наших исследований установлено, что включение в рацион растворимых волокон, таких как целлюлоза в дозе 1 г/кг корма, улучшает метаболизм питательных веществ, благодаря их способности модулировать желудочную секрецию из желудка и мышечную активность. Растворимые волокна влияют на вязкость химуса и снижают скорость транзита содержимого кишечника и при этом обладают эффектом пребиотика (Adhikari P et al., 2020).

В эксперименте Tiwari UP с коллегами (2019) у цыплят, которым дополнительно вводили в рацион сырую клетчатку 6 % и 9 % в течение 2 недель, наблюдалось снижение усвояемости сырого жира и валовой энергии. При этом фактически в конце эксперимента у таких птиц была лучшая масса тела по сравнению с контрольной группой (группу кормили 3% сырой клетчатки). Попадая в кишечник, нерастворимая клетчатка усиливает транзит за счёт отсутствия взаимодействия с водой и прочими субстратами. Такая клетчатка ускоряет продвижение и скорость ферментации пищевых частиц, помогает быстрому выведению каловых масс, ингибируя пристеночное пищеварение в кишечнике.

Снижение показателей переваримости сухого вещества, органического вещества и углеводов в I опытной группе в нашем эксперименте подтверждается исследованиями Slavin J с соавторами. (2013) и Hosseindoust A с коллегами (2019), где было доказано, что нерастворимые пищевые волокна снижают усвояемость питательных веществ, прироста массы тела. Эти волокна увеличивают скорость прохождения химуса по кишечнику и плохо ферментируются в организме цыплят.

В исследовании Tar J с коллегами (2015), указано, что оба вида пищевых волокон крайне важны для организма. Нерастворимая клетчатка обеспечивает поддержание функций пищеварительного тракта, а растворимая улучшает пищеварение и обменные процессы. При введении растворимых волокон наблюдается высокая активность ферментов, участвующих в переваривании белка, и его переваримость во II опытной группе в нашем опыте улучшается на 10,45 %.

Проведённый корреляционный анализ полученных нами данных показывал достоверную связь между биохимическими параметрами крови и минеральными веществами при использовании Арбоцела и Целлюлозы. Положительная корреляция СОД была обнаружена во II опытной группе, а в I опытной группе цыплят корреляция была отрицательной.

Доказано, что пищевые волокна можно использовать не только для улучшения показателей роста, но и для увеличения использования питательных веществ, в частности, компенсировать де-

фицит Ca (Yadav S et al., 2019). Эти исследования раскрывают преимущества пищевых волокон в качестве добавок для улучшения показателей роста птицы и использования питательных веществ.

#### **Заключение.**

Таким образом, исследуемые источники нерастворимых пищевых волокон (Арбоцел) и растворимых (Целлюлоза) оказывают разнополярное действие на рост и развитие цыплят-бройлеров, использование питательных веществ корма и биохимические показатели в различной степени. Нерастворимые волокна Арбоцела способствуют снижению массы цыплят-бройлеров за счёт того, что волокна увеличивают скорость прохождения химуса по кишечнику и плохо ферментируются в организме цыплят из-за минимального или полного отсутствия влияния на микрофлору кишечника и усвояемость питательных веществ. Присутствие растворимых волокон через доступность кишечных ферментов к субстратам приводит к снижению высвобождения питательных веществ и последующей ассимиляции питательных веществ. Крайне важно иметь в виду, что клетчатка должна использоваться как функциональное питательное вещество, а не как питательное вещество само по себе, и при использовании волокнистых кормов следует вносить соответствующие поправки в кормления с точки зрения энергии, белка и их соотношений.

#### **Список источников**

1. Наставления по использованию нетрадиционных кормов в рационах птицы: метод. указание / И.А. Егоров, Т.Н. Ленкова, В.А. Манукян и др.; под общ. ред. акад. РАН В.И. Фисинина. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2016. 59 с. [Egorov IA, Lenkova TN, Manukyan VA et al. Nastavleniya po ispol'zovaniyu netraditsionnykh kormov v ratsionakh ptitsy: metod. ukazanie. pod obshch. red. akad. RAN Fisinina VI. Sergiev Posad: VNITIP; 2016:59 p. (*In Russ*)].
2. Abdollahi MR, Zaefarian F, Hunt H, Anwar MN, Thomas DG, Ravindran V. Wheat particle size, insoluble fibre sources and whole wheat feeding influence gizzard musculature and nutrient utilization to different extents in broiler chickens. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2019;103(1):146-161. doi: 10.1111/jpn.13019
3. Adhikari P, Kiess A, Adhikari R, Jha R. An approach to alternative strategies to control avian coccidiosis and necrotic enteritis. *J Appl Poult Res.* 2020;29(2):515-534. doi: 10.1016/j.japr.2019.11.005
4. Akbaryan M, Mahdavi A, Jebelli-Javan A, Staji H, Darabighane B. A comparison of the effects of resistant starch, fructooligosaccharide, and zinc bacitracin on cecal short-chain fatty acids, cecal microflora, intestinal morphology, and antibody titer against Newcastle disease virus in broilers. *Comp Clin Path.* 2019;28(3):661-667. doi: 10.1007/s00580-019-02936-9
5. Celi P, Cowieson AJ, Fru-Nji F, Steinert RE, Kluefter AM, Verlhac V. Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: new opportunities for sustainable animal production. *Anim Feed Sci Technol.* 2017;234:88-100. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.09.012
6. Goldsmith JR, Sartor RB. The role of diet on intestinal microbiota metabolism: downstream impacts on host immune function and health, and therapeutic implications. *J Gastroenterol.* 2014;49:785-798. doi: 10.1007/s00535-014-0953-z
7. Grechkina VV, Medvedev SA, Lebedev SV, Miroshnikova EP, Shoshina OV, Miroshnikov IS. The elemental status of broiler chickens when used the cocoa husks in the diet. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: V International Workshop on Innovations in Agro and Food Technologies (WIAFT-V-2021) 17th-18th June 2021, Volgograd, Russian Federation.* Bristol, England: IOP Publishing; 2021;848:012055. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012055
8. Holscher HD, Caporaso JG, Hooda S, Brulc JM, Fahey GCJ, Swanson KS, Fahey Jr GC, Swanson KS. Fiber supplementation influences phylogenetic structure and functional capacity of the human intestinal microbiome: follow-up of a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr.* 2015;101(1):55-64. doi:10.3945/ajcn.114.092064



9. Hosseindoust A, Lee S, Gook Nho W, Song YH, Shin JS, LaxmanIngale S, et al. A dose-response study to evaluate the effects of pH-stable  $\beta$ -mannanase derived from *Trichoderma citrinoviride* on growth performance, nutrient retention, and intestine morphology in broiler chickens. *Ital J Anim Sci.* 2019;18(1):147-154. doi: 10.1080/1828051X.2018.1500872
10. Jha R, Fohse JM, Tiwari UP, Li L, Willing BP. Dietary fiber and intestinal health of monogastric animals. *Front Vet Sci.* 2019;6:48. doi: 10.3389/fvets.2019.00048
11. Kimiaetalab MV, MirzaieGoudarzi S, Jiménez-Moreno E, Cámara L, Mateos GG. A comparative study on the effects of dietary sunflower hulls on growth performance and digestive tract traits of broilers and pullets fed a pullet diet from 0 to 21 days of age. *Anim Feed Sci Technol.* 2018;236:57-67. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.11.023
12. Koçer B, Bozkurt M, Ege G, Tüzün AE. Effects of sunflower meal supplementation in the diet on productive performance, egg quality and gastrointestinal tract traits of laying hens. *Br Poult Sci.* 2021;62(1):101-109. doi: 10.1080/00071668.2020.1814202
13. Li Y, Yang H, Xu L, Wang Z, Zhao Y, Chen X. Effects of dietary fiber levels on cecal microbiota composition in geese. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2018;31(8):1285-1290. doi: 10.5713/ajas.17.0915
14. Liu B, Wang W, Zhu X, Sun X, Xiao J, Li D, et al. Response of gut microbiota to dietary fiber and metabolic interaction with SCFAs in piglets. *Front Microbiol.* 2018;9:2344. doi: 10.3389/fmicb.2018.02344
15. Lebedev S, Sheida E, Vershinina I, Grechkina V, Gubaidullina I, Miroshnikov S, Shoshina O. Use of chromium nanoparticles as a protector of digestive enzymes and biochemical parameters for various sources of fat in the diet of calves. *AIMS Agriculture and Food.* 2020;6(1):14-31. doi: 10.3934/agrfood.2021002
16. Pedersen NR, Ravn JL, Pettersson D. A multienzyme NSP product solubilises and degrades NSP structures in canola and mediates protein solubilisation and degradation in vitro. *Anim Feed Sci Technol.* 2017;234:244-252. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.09.015
17. Sadeghi A, Toghyani M, Tabeidian SA, Foroozandeh AD, Ghalamkari G. Efficacy of dietary supplemental insoluble fibrous materials in ameliorating adverse effects of coccidial challenge in broiler chickens. *Arch Anim Nutr.* 2020;74(5):362-379. doi: 10.1080/1745039X.2020.1764811
18. Slama J, Schedle K, Wurzer GK, Gierus M. Physicochemical properties to support fibre characterization in monogastric animal nutrition. *J Sci Food Agric.* 2019;99(8):3895-3902. doi: 10.1002/jsfa.9612
19. Slavin J. Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients.* 2013;5(4):1417-1435. doi: 10.3390/nu5041417
20. Sonnenburg JL, Bäckhed F. Diet-microbiota interactions as moderators of human metabolism. *Nature.* 2016;535:56-64. doi:10.1038/nature18846
21. Sheida EV, Lebedev SV, Gubaidullina IZ, Grechkina VV, Ryazanov VA. Biotechnological aspects of the use of vegetable oils in the production of meat products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on World Technological Trends in Agribusiness 4-5 July 2020, Omsk City, Western Siberia, Russian Federation.* Bristol, England: IOP Publishing; 2021;624:012114. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012114
22. Tap J, Furet JP, Bensaada M, Philippe C, Roth H, Rabot S, Lakhdari O, Lombard V, Henrissat B, Corthier G, et al. Gut microbiota richness promotes its stability upon increased dietary fibre intake in healthy adults. *Environ Microbiol.* 2015;17(12):4954-4964. doi: 10.1111/1462-2920.13006
23. Tiwari UP, Berrocoso JD, Dersjant-Li Y, Awati A, Jha R. Effects of a combination of xylanase, amylase and protease, and probiotics on major nutrients including amino acids and non-starch polysaccharides utilization in broilers fed different level of fibers. *Poult Sci.* 2019;98(11):5571-5581. doi: 10.3382/ps/pez310

24. Williams BA, Grant LJ, Gidley MJ, Mikkelsen D. Gut fermentation of dietary fibres: physico-chemistry of plant cell walls and implications for health. *Int J Mol Sci.* 2017;18(10):2203. doi: 10.3390/ijms18102203
25. Yadav S, Jha R. Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *J Anim Sci Biotechnol.* 2019;10:2. doi: 10.1186/s40104-018-0310-9
26. Zhang J, Cai K, Mishra R, Jha R. In ovo supplementation of chitooligosaccharide and chlorella polysaccharide affects cecal microbial community, metabolic pathways, and fermentation metabolites in broiler chickens. *Poult Sci.* 2020;99(10):4776-4785. doi: 10.1016/j.psj.2020.06.061

### References

1. Egorov IA, Lenkova TN, Manukyan VA et al. Instructions on the use of non-traditional feeds in poultry diets: methodical instruction. under general editorship of RAN Fisininina VI. Sergiyev Posad: VNITIP;2016:59 p.
2. Abdollahi MR, Zaefarian F, Hunt H, Anwar MN, Thomas DG, Ravindran V. Wheat particle size, insoluble fibre sources and whole wheat feeding influence gizzard musculature and nutrient utilization to different extents in broiler chickens. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2019;103(1):146-161. doi: 10.1111/jpn.13019
3. Adhikari P, Kiess A, Adhikari R, Jha R. An approach to alternative strategies to control avian coccidiosis and necrotic enteritis. *J Appl Poult Res.* 2020;29(2):515-534. doi: 10.1016/j.japr.2019.11.005
4. Akbaryan M, Mahdavi A, Jebelli-Javan A, Staji H, Darabighane B. A comparison of the effects of resistant starch, fructooligosaccharide, and zinc bacitracin on cecal short-chain fatty acids, cecal microflora, intestinal morphology, and antibody titer against Newcastle disease virus in broilers. *Comp Clin Path.* 2019;28(3):661-667. doi: 10.1007/s00580-019-02936-9
5. Celi P, Cowieson AJ, Fru-Nji F, Steinert RE, Klünter AM, Verlhac V. Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: new opportunities for sustainable animal production. *Anim Feed Sci Technol.* 2017;234:88-100. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.09.012
6. Goldsmith JR, Sartor RB. The role of diet on intestinal microbiota metabolism: downstream impacts on host immune function and health, and therapeutic implications. *J Gastroenterol.* 2014;49:785-798. doi:10.1007/s00535-014-0953-z
7. Grechkina VV, Medvedev SA, Lebedev SV, Miroshnikova EP, Shoshina OV, Miroshnikov IS. The elemental status of broiler chickens when used the cocoa husks in the diet. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: V International Workshop on Innovations in Agro and Food Technologies (WIAFT-V-2021) 17th-18th June 2021, Volgograd, Russian Federation. Bristol, England: IOP Publishing; 2021;848:012055. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012055
8. Holscher HD, Caporaso JG, Hooda S, Brulc JM, Fahey GCJ, Swanson KS, Fahey Jr GC, Swanson KS. Fiber supplementation influences phylogenetic structure and functional capacity of the human intestinal microbiome: follow-up of a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr.* 2015;101(1):55-64. doi:10.3945/ajcn.114.092064
9. Hosseindoust A, Lee S, Gook Nho W, Song YH, Shin JS, LaxmanIngale S, et al. A dose-response study to evaluate the effects of pH-stable  $\beta$ -mannanase derived from *Trichoderma citrinoviride* on growth performance, nutrient retention, and intestine morphology in broiler chickens. *Ital J Anim Sci.* 2019;18(1):147-154. doi: 10.1080/1828051X.2018.1500872
10. Jha R, Fohse JM, Tiwari UP, Li L, Willing BP. Dietary fiber and intestinal health of monogastric animals. *Front Vet Sci.* 2019;6:48. doi: 10.3389/fvets.2019.00048
11. Kimiaetalab MV, MirzaieGoudarzi S, Jiménez-Moreno E, Cámara L, Mateos GG. A comparative study on the effects of dietary sunflower hulls on growth performance and digestive tract traits of broilers and pullets fed a pullet diet from 0 to 21 days of age. *Anim Feed Sci Technol.* 2018;236:57-67. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.11.023

12. Koçer B, Bozkurt M, Ege G, Tüzün AE. Effects of sunflower meal supplementation in the diet on productive performance, egg quality and gastrointestinal tract traits of laying hens. *Br Poult Sci.* 2021;62(1):101-109. doi: 10.1080/00071668.2020.1814202
13. Li Y, Yang H, Xu L, Wang Z, Zhao Y, Chen X. Effects of dietary fiber levels on cecal microbiota composition in geese. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2018;31(8):1285-1290. doi: 10.5713/ajas.17.0915
14. Liu B, Wang W, Zhu X, Sun X, Xiao J, Li D, et al. Response of gut microbiota to dietary fiber and metabolic interaction with SCFAs in piglets. *Front Microbiol.* 2018;9:2344. doi: 10.3389/fmicb.2018.02344
15. Lebedev S, Sheida E, Vershinina I, Grechkina V, Gubaidullina I, Miroschnikov S, Shoshina O. Use of chromium nanoparticles as a protector of digestive enzymes and biochemical parameters for various sources of fat in the diet of calves. *AIMS Agriculture and Food.* 2020;6(1):14-31. doi: 10.3934/agrfood.2021002
16. Pedersen NR, Ravn JL, Pettersson D. A multienzyme NSP product solubilises and degrades NSP structures in canola and mediates protein solubilisation and degradation in vitro. *Anim Feed Sci Technol.* 2017;234:244-252. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.09.015
17. Sadeghi A, Toghyani M, Tabeidian SA, Foroozandeh AD, Ghalamkari G. Efficacy of dietary supplemental insoluble fibrous materials in ameliorating adverse effects of coccidial challenge in broiler chickens. *Arch Anim Nutr.* 2020;74(5):362-379. doi: 10.1080/1745039X.2020.1764811
18. Slama J, Schedle K, Wurzer GK, Gierus M. Physicochemical properties to support fibre characterization in monogastric animal nutrition. *J Sci Food Agric.* 2019;99(8):3895-3902. doi: 10.1002/jsfa.9612
19. Slavin J. Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients.* 2013;5(4):1417-1435. doi: 10.3390/nu5041417
20. Sonnenburg JL, Bäckhed F. Diet–microbiota interactions as moderators of human metabolism. *Nature.* 2016;535:56-64. doi:10.1038/nature18846
21. Sheida EV, Lebedev SV, Gubaidullina IZ, Grechkina VV, Ryazanov VA. Biotechnological aspects of the use of vegetable oils in the production of meat products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on World Technological Trends in Agribusiness 4-5 July 2020, Omsk City, Western Siberia, Russian Federation.* Bristol, England: IOP Publishing; 2021;624:012114. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012114
22. Tap J, Furet JP, Bensaada M, Philippe C, Roth H, Rabot S, Lakhdari O, Lombard V, Henrissat B, Corthier G, et al. Gut microbiota richness promotes its stability upon increased dietary fibre intake in healthy adults. *Environ Microbiol.* 2015;17(12):4954-4964. doi: 10.1111/1462-2920.13006
23. Tiwari UP, Berrocoso JD, Dersjant-Li Y, Awati A, Jha R. Effects of a combination of xylanase, amylase and protease, and probiotics on major nutrients including amino acids and non-starch polysaccharides utilization in broilers fed different level of fibers. *Poult Sci.* 2019;98(11):5571-5581. doi: 10.3382/ps/pez310
24. Williams BA, Grant LJ, Gidley MJ, Mikkelsen D. Gut fermentation of dietary fibres: physico-chemistry of plant cell walls and implications for health. *Int J Mol Sci.* 2017;18(10):2203. doi: 10.3390/ijms18102203
25. Yadav S, Jha R. Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *J Anim Sci Biotechnol.* 2019;10:2. doi: 10.1186/s40104-018-0310-9
26. Zhang J, Cai K, Mishra R, Jha R. In ovo supplementation of chitooligosaccharide and chlorella polysaccharide affects cecal microbial community, metabolic pathways, and fermentation metabolites in broiler chickens. *Poult Sci.* 2020;99(10):4776-4785. doi: 10.1016/j.psj.2020.06.061

**Информация об авторах:**

**Виктория Владимировна Гречкина**, кандидат биологических наук, и.о. заведующего лабораторией биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; доцент кафедры незаразных болезней животных, Оренбургский государственный аграрный университет, 460000, ул. Челюскинцев 18, тел.: 8-922-877-14-97.

**Святослав Валерьевич Лебедев**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-345-87-38.

**Александр Сергеевич Ушаков**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии пищеварения и межклеточного обмена, Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных-филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр животноводства-ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста» (ВНИИФБиП), 249013, Калужская область, г. Боровск, сот.: 8926-559-30-08.

**Юрий Константинович Петруша**, младший научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, сот.: 8-905-887-72-00.

**Information about the authors:**

**Victoria V Grechkina**, Cand. Sci. (Biology), Acting Head of the Laboratory of Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, st. January 9, 29; Associate Professor, Department of Non-communicable Animal Diseases, Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev St., 460000, tel.: 8-922-877-14-97.

**Svyatoslav V Lebedev**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher at the Laboratory of Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., 460000, Orenburg, tel.: 8-912-345-87-38.

**Alexander S Ushakov**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of Laboratory Of Physiology Of Digestion And Intermediary Metabolism, Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Agricultural Animals – a branch of Federal public budgetary scientific institution "Federal Research Center of Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst" (Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Agricultural Animals), 249013, Kaluga region, Bоровsk, tel.: 8926-559-30-08.

**Yury K Petrusha**, Junior Researcher at the Laboratory of Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., 460000, Orenburg, tel.: 8-905-887-72-00.

Статья поступила в редакцию 22.11.2021; одобрена после рецензирования 01.12.2021; принята к публикации 13.12.2021.

The article was submitted 22.11.2021; approved after reviewing 01.12.2021; accepted for publication 13.12.2021.