

Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 1. С. 92-102  
Animal Husbandry and Fodder Production. 2022. Vol. 105, no 1. P. 92-102

Научная статья  
УДК 636.5:636.085  
doi: 10.33284/2658-3135-105-1-92

**Влияние баротермической обработки компонентов рациона на микробное сообщество кишечника цыплят-бройлеров**

**Татьяна Николаевна Холодилина<sup>1</sup>, Татьяна Андреевна Климова<sup>2</sup>, Марина Яковлевна Курилкина<sup>3</sup>, Владимир Валерьевич Ваншин<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Федеральный исследовательский центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

<sup>4</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

<sup>1</sup>icvniims@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3946-8247>

<sup>2</sup>icvniims.or@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-4298-1663>

<sup>3</sup>K\_marina4@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0253-7867>

<sup>4</sup>vansch.v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4387-9903>

**Аннотация.** В статье приведены исследования по оценке влияния изменения углеводного состава компонентов рациона в результате экструзионной обработки на микробиоценоз кишечника цыплят-бройлеров. Для эксперимента были выбраны пшеничные отруби и зерно кукурузы, исходный состав данных образцов отличался структурой углеводного комплекса. Пшеничные отруби характеризовались высоким содержанием клетчатки 7,7 % и растворимых углеводов 5,8 % в пересчёте на СВ, в то время как кукуруза содержит 4,29 % сырой клетчатки и 47,6 % легкогидролизуемых углеводов (крахмала). Экструзионная обработка изменяет соотношение растворимых и нерастворимых полисахаридов, снижая содержание клетчатки в образцах на 61-65 %. Рост облигатной микрофлоры кишечника птицы зависел от распределения в рационе трудногидролизуемых и легкогидролизуемых углеводов. Наиболее оптимальное соотношение углеводов для увеличения роста бактерий рода *Lactobacillus* на 63,47 % ( $P \leq 0,05$ ) наблюдалось в группах, получавших экструдированные отруби и необработанную кукурузу. Введение в рацион обработанных отрубей увеличило рост бактерий рода *Enterococcus* на 72,37 % ( $P \leq 0,001$ ). Аналогично реагируют на изменение состава углеводов и бактерии рода *Clostridium*, демонстрируя рост в группах с высоким содержанием крахмалистых полисахаридов. Рост патогенной микрофлоры замедляется при включении в рацион экструдатов.

**Ключевые слова:** цыплята-бройлеры, кормление, экструдирование, углеводы, микрофлора кишечника

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

**Для цитирования:** Влияние баротермической обработки компонентов рациона на микробное сообщество кишечника цыплят-бройлеров / Т.Н. Холодилина, Т.А. Климова, М.Я. Курилкина, В.В. Ваншин // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 1. С. 92-102. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-92>

Original article

**Influence of barothermic treatment of dietary components on the microbial intestinal community of broiler chickens**

**Tatyana N Kholodilina<sup>1</sup>, Tatyana A Klimova<sup>2</sup>, Marina Ya Kurilkina<sup>3</sup>, Vladimir V Vanshin<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

<sup>4</sup>Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>1</sup>icvniims@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3946-8247>

<sup>2</sup>icvniims.or@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-4298-1663>

<sup>3</sup>K\_marina4@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0253-7867>

<sup>4</sup>vansch.v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4387-9903>

**Abstract.** The article presents studies on the assessment of changes in the carbohydrate composition of diet after extrusion processing on the intestinal microbiocenosis of broiler chickens. For processing, two

components of wheat bran and corn grains were selected, the initial composition of samples differed in structure of the carbohydrate complex. Wheat bran was characterized by a high fiber intake of 7.7%, and soluble fiber 5.8% in terms of dry matter. While corn contains 4.29% crude fiber and 47.6 % easily hydrolysable proteins (starch). Extrusion processing changes the ratio of soluble and insoluble polysaccharides, reducing the fiber content in samples by 61-65%. The growth of the obligate intestinal microflora of birds depends on the distribution of difficultly hydrolysable and easily hydrolysable carbohydrates in the diet. the highest frequency of occurrence for the growth of population *Lactobacillus* species by 63.47 % ( $P \leq 0,05$ ) The introduction of processed bran into the diet increased the growth of the *Enterococcus* nutrient medium by 72.37% ( $P \leq 0,001$ ). Similarly, they react to changes in the composition of collagen and the bacterial origin of *Clostridium*, an increase in the incidence in groups with a high content of starchy polysaccharides. Pathogenic microflora slows down growth when extrudates are included in the diet.

**Keywords:** extrusion, broiler chickens, carbohydrates, intestinal microflora

**Acknowledgments:** the work performed in accordance to the plan of research works for 2021-2023 FSBRI FRC BST RAS (No. 0761-2019-0005).

**For citation:** Kholodilina TN, Klimova TA, Kurilkina MYa, Vanshin VV. Influence of barothermic treatment of dietary components on the microbial intestinal community of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):92-102. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-92>

## **Введение.**

Рост цен зерновых в условиях современной экономической ситуации приводит к поиску альтернативных составляющих рациона птицы, в том числе побочных продуктов зернопереработки, которые характеризуются значительным содержанием пищевых волокон (Bach Knudsen KE, 2001; Холодилина Т.Н. и др., 2008; Гарипова Н.В. и др., 2012). Возможность использования пшеничных отрубей в качестве сырья для производства кормов благодаря уникальному химическому составу является довольно перспективным направлением (Kholodilina TN et al., 2021).

На сегодняшний день представление о роли компонентов с большим содержанием клетчатки в рационе птиц базируется на исследованиях, полученных несколько десятков лет назад. В них, как правило, приводится эффект снижения поедаемости кормов и уменьшения выхода продукции (Rich SC et al., 1982; Krogdahl A, 1986; Iji PA et al., 2001). Однако с развитием хроматографических методов и широким применением метагеномного секвенирования появились работы, доказывающие стимулирующее действие трудногидролизуемых углеводов на функционирование микрофлоры кишечника и выработку летучих жирных кислот (Фисинин В.И., 2016; Kumar S et al., 2019).

Нивелировать действие клетчатки на организм цыплят-бройлеров без потери продуктивности позволяет предварительная экструзионная обработка (Слезко Е.И. и Гапонова В.Е., 2021; Kholodilina TN, 2021). Несмотря на то, что процесс экструзии достаточно широко применяется сегодня в комбикормовой промышленности, нарастающий интерес к более глубокому изучению происходящих структурных преобразований в кормах и роли экструдатов в обменных процессах организма животных и птиц заметен в последние несколько лет и выражается увеличением количества публикаций по данной тематике в несколько раз (Crawford DE, 2017; Bolm C and Hernández JG, 2018; Фролов Д.И. и Кудрина А.Н., 2020; Пугачёв П., 2021).

Данных о влиянии уровня углеводов в рационах на микробиом кишечника недостаточно. В связи с этим авторы приводят сравнительные исследования химических изменений в процессе экструдирования кукурузы, как наиболее востребованного и дорогого компонента при составлении рационов, и пшеничных отрубей. А также изучен ответ кишечной микрофлоры цыплят-бройлеров на структурные изменения в рационах.

**Цель исследования.**

Изучение особенностей состава микрофлоры кишечника цыплят-бройлеров при включении различных экструдатов в рацион.

**Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Кишечная микрофлора цыплят-бройлеров кросса «Arbor Acres».

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), а также в соответствии с руководством по работе с лабораторными животными для сотрудников (<http://fncbst.ru/>). Проведение эксперимента одобрено Этическим комитетом ФНЦ БСТ РАН. При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

**Схема эксперимента.** Исследования проводились на базе вивария ФНЦ БСТ РАН. На основании данных индивидуального взвешивания методом пар-аналогов были сформированы 4 группы (n=30) цыплят-бройлеров суточного возраста. Начиная с трёхнедельного возраста, птица поставлена на режим основного учётного периода.

Кормление птицы осуществлялось полнорационными комбикормами (Kholodilina TN, 2020). При составлении рациона во всех группах была проведена замена 10 % зерновой части на пшеничные отруби (*WB*)/кукурузу (*C*). В ходе эксперимента проводили сравнительный анализ действия нативных и экструдированных отрубей (*EB*)/кукурузы (*EC*) на микрофлору кишечника птицы. Перед обработкой исследуемый продукт предварительно увлажняли до 30 % и отволаживали для равномерного распределения влаги в образцах. Процесс проходил в диапазоне температур от +110 до +135 °С и давлении 120 Мпа.

Длительность эксперимента составляла 42 дня, методика отбора проб и условия доставки в микробиологическую лабораторию описаны ранее (Kholodilina TN, 2021). Изучение микрофлоры производили по стандартным методикам с использованием сред в единицах измерения КОЕ/г: *Staphylococcus* – Агар Байрд-Паркера; *Proteus* – Агар дифференциально-диагностический для *Proteus*; *Escherichia* – Агар Эндо; *Salmonella* – Висмут-сульфит агар; *Lactobacillus* – Среда MRS; *Bifidobacterium* – Бифидум-среда; *Clostridium perfringens* – Сульфитный агар; *Enterococcus* (*E. faecalis*, *E. faecium*) – Энтерококкагар. Определение сахара и крахмала проводили по ГОСТ 26176, клетчатки – ГОСТ 31675. Все данные представлены в пересчёте на сухое вещество.

**Оборудование и технические средства.** Исследования изменений углеводного состава и микробиоты кишечника проводили в ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>. Химический состав образцов определяли с использованием весов лабораторных электронных ВМ 153 (ООО «ОКБ Веста», Россия), шкафа сушильного LOIP LF 60/350-VS1с принудительной конвекцией, колориметра фотоэлектрического КФК-2, КФК -3М (Россия). Для исследования облигатных анаэробов использовали анаэроостаты АЭ-01 (Россия). Поглощение кислорода и выделение углекислого газа для роста бактерий обеспечивалось применением газогенерирующих пакетов «Анаэрогаз». Время установления рабочей атмосферы в анаэроостате – не более 2 часов.

**Статистическая обработка.** Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета программ «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США), а именно определение средней арифметической величины (*M*), стандартной ошибки средней (*m*). Достоверными считали результаты при  $P < 0,05$  с использованием *t*-критерия Стьюдента.

**Результаты исследований.**

При проведении процесса экструзии исследуемых образцов углеводный комплекс подвергался наибольшим преобразованиям. Так, при обработке пшеничных отрубей количество растворимых углеводов (сахар) увеличилось на 18,96 % ( $P \leq 0,01$ ). Содержание легкогидролизуемых углеводов (крахмал) увеличилось на 47,91 % ( $P \leq 0,001$ ) (табл. 1).

Таблица 1. Влияние процесса экструзии на изменение химического состава образцов\*  
Table 1. Influence of the extrusion process on the change in the chemical composition of samples\*

Показатель/ <i>Indicator</i>	Вид продукта/ <i>Product type</i>				Относительное значение, % / <i>Relative value, %</i>		Достоверность, P / <i>Reliability, P</i>	
	WB	EB	C	EC	[1]	[2]	WB к EB / <i>WB to EB</i>	C к EC / <i>C to EC</i>
Массовая доля сахара / <i>Mass fraction of sugar</i>	5,8±0,25	6,9±0,035	2,8±0,065	8,9±0,135	18,96	217,86	**	***
Массовая доля крахмала / <i>Mass fraction of starch</i>	14,4±0,01	21,3±0,03	47,6±0,65	55,1±0,90	47,91	15,76	***	**
Массовая доля сырой клетчатки / <i>Mass fraction of fiber</i>	7,7±1,36	2,7±1,06	4,29±1,13	1,67±1,00	-64,93	61,07	*	-

Примечание: \* – Значения представляют собой средние результаты, полученные в трёх повторностях и выраженные в %.

WB – образцы пшеничных отрубей; EB – образцы экструдированных отрубей; C – образцы кукурузы; EC – образцы экструдированной кукурузы.

Относительное значение, %: [1] – разница между значениями показателей WB и EB рассчитана как  $EB-WB/WB * 100$ ; [2] – разница между значениями показателей C и EC.

\*\*\* $P \leq 0,001$ , \*\*  $P \leq 0,01$ , \* $P \leq 0,05$

Note: \* – Values are average results obtained in triplicate and expressed in %.

WB – samples of wheat bran; EB – samples of extruded bran; C – samples of corn; EC – samples of extruded corn.

Relative value, %: [1] – the difference between the values of WB and EB indicators is calculated as  $EB-WB/WB*100$ ; [2] - the difference between the values of indicators C and EC.

\*\*\* $P < 0.001$ , \*\* $P \leq 0.01$ , \* $P \leq 0.05$

При обработке кукурузы количество сахаров достоверно увеличилось в 3,18 раза ( $P \leq 0,001$ ), а содержание крахмала увеличилось на 15,76 % ( $P \leq 0,01$ ).

Сырая клетчатка ожидаемо подверглась структурным изменениям в ходе барогидротермической обработки и её содержание в сухом веществе отрубей снизилось на 64,9 %, а в кукурузе – на 61 % ( $P \leq 0,05$ ).

Введение в рацион нативной и экструдированной кукурузы привело к росту бактерий рода *Bifidobacterium*. В данном случае они визуализировались в виде тонких колоний, «тяжей». Добавление в рацион пшеничных отрубей не способствовало росту данного вида микроорганизмов. Экструзионная обработка пшеничных отрубей увеличивает содержание бактерий рода *Lactobacillus* на 63,47 % ( $P \leq 0,05$ ) относительно необработанных (рис. 1). В группе, получавшей экструдат кукурузы, напротив, произошло уменьшение количества бактерий рода *Lactobacillus* на 63,22 % относительно необработанного продукта. При сравнении действия экструдированных продуктов на численность бактерий рода *Lactobacillus* экструдат пшеничных отрубей достоверно увеличивает количество данных бактерий на 31,0 % относительно экструдата кукурузы.

Обработка исследуемых продуктов способствовала увеличению количества бактерий рода *Enterococcus* (рис. 1). В группе получавшей *EB* их рост выше на 72,37 % ( $P \leq 0,001$ ) относительно нативных отрубей. Экструдирование кукурузы не влияет на численность бактерий рода *Enterococcus* в кишечнике цыплят-бройлеров.

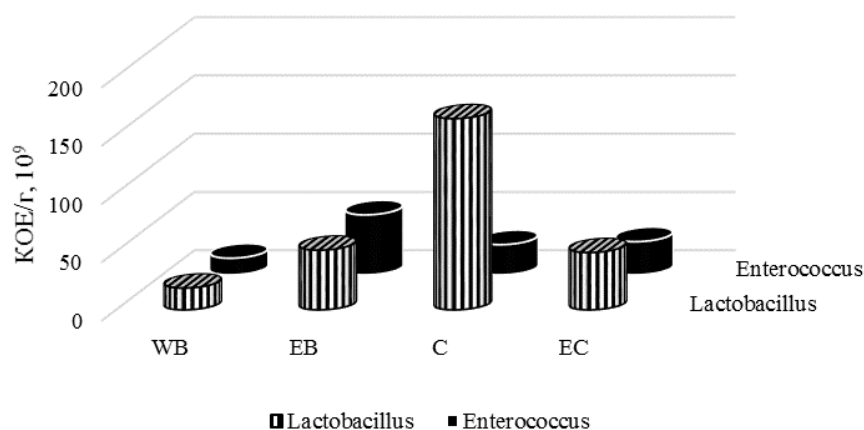
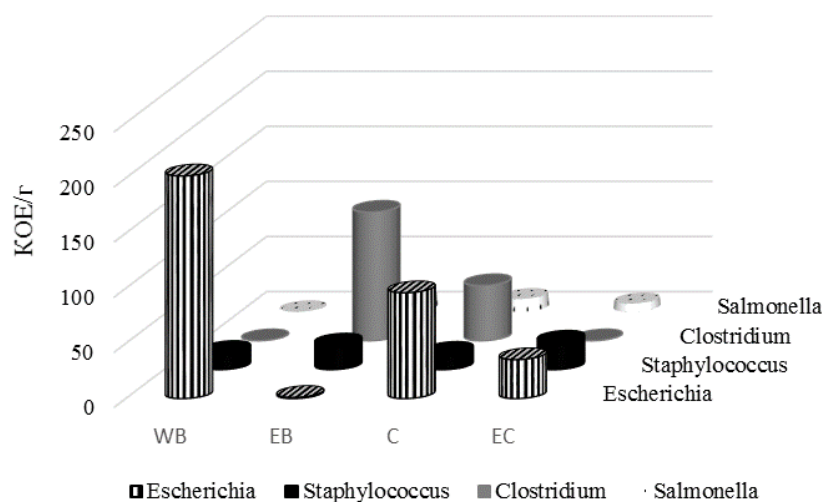


Рис. 1 – Облигатная микрофлора слепой кишки цыплят-бройлеров  
Figure 1 – Obligate microflora of the caecum of broiler chickens

Противоположный эффект оказывает введение необработанных пшеничных отрубей, количество рассматриваемых бактерий снижается на 81,7 % ( $P \leq 0,05$ ) относительно группы, получавшей нативную кукурузу.

Число бактерий рода *Staphylococcus* было на одном уровне во всех исследуемых группах (рис. 2). Зафиксированы достоверные увеличения количества бактерий в группе *EC* относительно группы *C* на 40,4 % ( $P \leq 0,05$ ). В группе *EB* также было отмечено достоверное увеличение по отношению к *C* на 33,5 % ( $P \leq 0,01$ ).



**Рис. 2 – Представители условно-патогенной и патогенной микрофлоры слепой кишки цыплят-бройлеров**

**Figure 2 – Representatives of opportunistic and pathogenic microflora of the caecum of broiler chickens**

В группе, получавшей *WB*, не были обнаружены патогенные бактерии рода *Salmonella*. Включение экструдированных отрубей в рацион вызвало рост патогенов до 11,7 КОЕ/г (рис. 2). *EC* снижает рост бактерий рода *Salmonella* относительно группы получавшей *EB* на 37,60 % ( $P \leq 0,001$ ).

Вид *Clostridium perfringens* не был обнаружен в группах, получавших *WB* и *EC* (рис. 2). Так же как и в случае с бактериями рода *Salmonella*, зафиксирован рост при введении в рацион нативной кукурузы ( $P \leq 0,01$ ). Наибольший рост обнаружен при включении экструдата отрубей до 116,7 КОЕ/г.

Максимальный рост бактерий рода *Escherichia* наблюдался в группах, получавших не обработанный продукт (рис. 2). Включение *EB* способствует снижению количества бактерий по отношению к группе *WB* на 99,50 % ( $P \leq 0,01$ ).

Ни в одной из групп в кишечнике не были обнаружены бактерии рода *Proteus* и *Shigella*.

#### Обсуждение полученных результатов.

Микрофлора пищеварительного тракта птицы до сих пор изучена не полностью. Многие исследования показали, что кишечная микробиота участвует в метаболических процессах, таких как обмен липидов и синтез аминокислот (Chen Y et al., 2020). Взаимодействие между бактериями и эпителием желудочно-кишечного тракта приводит к различным структурным и функциональным изменениям пищеварительного тракта (Gabriel I et al., 2006).

У птиц в слепых отделах кишечника химус находится наиболее длительное время, именно в нём он подвергается процессам расщепления белка, клетчатки, крахмала со стороны микробного сообщества. Здесь происходят образование важнейших бактериальных метаболитов, обеспечивающих функционирование всего организма (Torok VA et al., 2011; Stanley D et al., 2012; Zdunczyk Z et al., 2015). Поэтому рационы, отличающиеся уровнем углеводов, будут по-разному влиять на процессы микробного пищеварения и требуют комплексного изучения происходящих, в связи с этим изменений (Redig PT, 1989).

Полученные нами результаты демонстрируют неоднозначный эффект на состав микробиома от применения исследуемых рационов с присутствием/отсутствием экструдата в кормлении цыплят-бройлеров.

Добавление в рацион экструдированного корма стимулирует рост представителей облигатной микрофлоры: бактерий рода *Lactobacillus*, *Enterococcus* и *Bifidobacterium*. Рядом авторов было доказано, что экструзия положительно влияет на рост *Lactobacillus*, а именно увеличение активности бактериальной  $\alpha$ - и  $\beta$ -глюкозидазы,  $\beta$ -галактозидазы и  $\beta$ -глюкоронидазы (Gheorghe A et al., 2020; Konieczka P et al., 2020).

Наличие роста патогенных бактерий рода *Salmonella* в кишечнике птицы, возможно, связано именно с присутствием экструдата в рационе цыплят-бройлеров (Walugembe M et al., 2014). Также было выявлено небольшое количество типичных патогенных видов рода *Staphylococcus* в слепых отделах кишечника цыплят-бройлеров. Уменьшение содержания клетчатки в рационе способствовало угнетению роста бактерий рода *Clostridium* в одной из опытных групп, получающей экструдат. Именно клостридии обладают ферментами, расщепляющими крахмалистые полисахариды.

Значительные количества *Escherichia coli* способны вызвать дисбиотические изменения в кишечнике птиц, что возможно связано с воспалительной реакцией из-за поступления высоковолокнистого рациона (Sandford EE et al., 2011). Экструзия же снижает количество неперевариваемых волокон, это подтверждается нашими исследованиями, введение в рацион обработанного продукта уменьшает содержание кишечной палочки в микробиоме слепой кишки.

Известно, что экструзия изменяет содержание клетчатки, сахаров и крахмала путём нарушения связей и декстринизации (Кононенко С.И. и Гулиц А.Ф., 2015), однако в зависимости от исходного состава экструдированного образца амилолитические микроорганизмы ведут себя по-разному. Высокое содержание неперевариваемых компонентов и низкое содержание крахмала и сахаров не способствуют росту микроорганизмов с амилолитическими свойствами в случае с нативными отрубями. Картина меняется при введении экструдированных отрубей в сторону интенсивного роста. В то время как при использовании кукурузы в рационе мы видим обратный эффект – снижение количества бактерий рода *Lactobacillus* при обработке, ведущей к значительному уменьшению содержания клетчатки. Несмотря на то, что именно высоковолокнистые компоненты рациона замедляют его продвижение по кишечнику и могут способствовать увеличению числа патогенов (Фисинин В.И. и др., 2016), значение клетчатки в рационе цыплят-бройлеров сегодня рассматривается не так однозначно, т. к. она является стимулятором микробного синтеза важнейших для организма метаболитов, таких как летучие жирные кислоты (Konieczka P et al., 2020).

### **Заключение.**

Нами были получены результаты, которые позволяют сделать вывод о том, что микрофлора кишечника реагирует не на абсолютные значения содержания клетчатки в рационе, а на соотношение её с легкогидролизуемыми углеводами. Обработка кормов с низким содержанием клетчатки нецелесообразна, так как, несмотря на увеличение количества доступных углеводов, не оказывает стимулирующего эффекта на облигатную микрофлору.

### **Список источников**

1. Бактериальное сообщество слепых отростков кишечника цыплят-бройлеров на фоне питательных рационов различной структуры / В.И. Фисинин, Л.А. Ильина, Е.А. Ыылдырым, И.Н. Никонов, В.А. Филиппова, Г.Ю. Лаптев, Н.И. Новикова, А.А. Грозина, Т.Н. Ленкова, В.А. Манукян, И.А. Егоров // Микробиология. 2016. Т. 85. № 4. С. 472-480. [Fisinin VI, Il'ina LA, Iyldyrym EA, Ni-

konov IN, Filippova VA, Laptev GYu, Novikova NI, Grozina AA, Lenkova TN, Manukyan VA, Egorov IA. Broiler cecal microbiocenoses depending on mixed fodder. *Microbiologiya*. 2016;85(4):472-480. (*In Russ*). doi: 10.7868/S0026365616040054

2. Кононенко С.И., Гулиц А.Ф. Влияние экструдирования тритикале на развитие внутренних органов гусей // Известия Горского государственного аграрного университета. 2015. Т. 52. № 1. С. 78-82. [Kononenko SI, Gulits AF. Effect of triticale extrusion on the development of geese's internal organs. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015;52(1):78-82. (*In Russ*)].

3. Питательность и продуктивное действие отрубей, модифицированных в присутствии микрочастиц железа / Н.В. Гарипова, А.М. Мирошников, Т.Н. Холодилина, М.Я. Курилкина, В.В. Ваншин, А.Г. Зелепухин, Н.И. Рябов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 10(146). С. 117-121. [Garipova NV, Miroshnikov SA, Holodilina TN, Kurilkina MYa, Vanshin VV, Zelepukhin AG, Ryabov NI. Nutritional and productive action of bran, modified in the presence of particulate iron. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2012;10(146):117-121. (*In Russ*)].

4. Пугачёв П. Реализуем потенциал прессования с экструзией // Животноводство России. 2021. № 3. С. 58-60. [Pugachyov P. Employing potential of pressing with extrusion. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2021;3:58-60. (*In Russ*)].

5. Слезко Е.И., Гапонова В.Е. Влияние процесса экструдирования на питательные качества корма // Техника и технологии в животноводстве. 2021. № 1(41). С. 66-70. [Slezko EI, Gaponova VE. Impact of the extrusion process on the feed nutritional quality. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2021;1(41):66-70. (*In Russ*)]. doi: 10.51794/27132064-2021-1-66

6. Фролов Д.И., Кудрина А.Н. Влияние условий и параметров экструзии на свойства экструдатов из кукурузной крупы // Инновационная техника и технология. 2020. № 2(23). С. 17-23. [Frolov DI, Kudrina AN. The influence of extrusion conditions and parameters on the properties of corn grits extrudates. *Innovative machinery and technology*. 2020;2(23):17-23. (*In Russ*)].

7. Эффективность технологии переработки лузги гречихи с использованием химической и барогидротермической обработки / Т.Н. Холодилина, С.А. Мирошников, Г.Б. Зинюхин, О.Я. Соколова, Г.Б. Родионова // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2008. № 1. С. 62-64. [Kholodilina TN, Miroshnikov SA, Zinyukhin GB, Sokolova OYa, Rodionova GB. Effectiveness of technology for processing buckwheat hulls by the use of chemical and barohydrothermal treatment. *Vestnik of the Russian Academy Agricultural Sciences*. 2008;1:62-64. (*In Russ*)].

8. Bach Knudsen KE. The nutritional significance of «dietary fibre» analysis. *Anim Feed Sci Technol*. 2001;90(1-2):3-20. doi: 10.1016/S0377-8401(01)00193-6

9. Bolm C, Hernández JG. From synthesis of amino acids and peptides to enzymatic catalysis: a bottom-up approach in mechanochemistry. *ChemSusChem*. 2018;11(9):1410-1420. doi: 10.1002/cssc.201800113

10. Chen Y, Wang J, Yu L, Xu T, Zhu N. Microbiota and metabolome responses in the cecum and serum of broiler chickens fed with plant essential oils or virginiamycin. *Scientific Reports*. 2020;10:5382. doi: 10.1038/s41598-020-60135-x

11. Crawford DE. Extrusion – back to the future: Using an established technique to reform automated chemical synthesis. *Beilstein J. Org. Chem*. 2017;13:65-75. doi: 10.3762/bjoc.13.9

12. Gabriel I, Lessire M, Mallet S, Guillot JF. Microflora of the digestive tract: critical factors and consequences for poultry. *World's Poultry Science Journal*. 2006;62(3):499-511. doi: 10.1017/S0043933906001115

13. Gheorghe A, Lefter NA, Idriceanu L, Ropotă M, Hăbeanu M. Effects of dietary extruded linseed and *Lactobacillus acidophilus* on growth performance, carcass traits, plasma lipoprotein response, and caecal bacterial populations in broiler chicks. *Italian Journal of Animal Science*. 2020;19:822-832. doi: 10.1080/1828051X.2020.1801359

14. Iji PA, Saki AA, Tivey DR. Intestinal development and body growth of broiler chicks on diets supplemented with non-starch polysaccharides. *Anim Feed Sci Technol*. 2001;89(3-4):175-188. doi: 10.1016/S0377-8401(00)00223-6



15. Kholodilina TN, Atlanderova KN, Kurilkina MYa. Effect of the extrusion process on the amino acid components profile of the broilers 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;848:012056. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012056
16. Kholodilina TN. Efficiency of the introduction of different Ca levels in broiler chicken diets as part of dietary fiber extrudates. 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;624:012051. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012051
17. Konieczka P, Kaczmarek SA, Hejdysz M, Kinsner M, Szkopek D, Smulikowska S. Effects of faba bean extrusion and phytase supplementation on performance, phosphorus and nitrogen retention, and gut microbiota activity in broilers. J Sci Food Agric. 2020;100(11):4217-4225. doi: 10.1002/jsfa.10461
18. Krogdahl A. Antinutrients affecting digestive function and performance in poultry. In: Larbier DM, editor. Proceedings of the 7th European Poultry conf., Paris Wids. Poultry Sci Assoc., 24-28 Aug.; Paris: Branche Francaise; 1986:239-248.
19. Kumar S, Shang Y, Kim WK. Insight into dynamics of gut microbial community of broilers fed with fructooligosaccharides supplemented low calcium and phosphorus diets. Front Vet Sci. 2019;6:95. doi: 10.3389/fvets.2019.00095
20. Redig PT. The avian ceca: obligate combustion chambers or facultative afterburners? – The conditioning influence of diet. J Exp Zool. 1989;252(23):66-69. doi: 10.1002/jez.1402520511
21. Rick SC, Van Der Aar PJ, Fahey GCJr, Berger LL. Influence of dietary fiber on performance and fermentation characteristics of gut contents from growing chicks. Poult Sci. 1982;61(7):1335-1343. doi: 10.3382/ps.0611335
22. Sandford EE, Orr M, Balfanz E, Bowerman N, Li X, Zhou H, Johnson TJ, et al. Spleen transcriptome response to infection with avian pathogenic *Escherichia coli* in broiler chickens. BMC Genomics. 2011;12:469. doi: 10.1186/1471-2164-12-469
23. Stanley D, Denman SE, Hughes RJ, Geier MS, Crowley TM, Chen H, et al. Intestinal microbiota associated with differential feed conversion efficiency in chickens. Appl Microbiol Biotechnol. 2012;96:1361-1369. doi: 10.1007/s00253-011-3847-5
24. Torok VA, Hughes RJ, Mikkelsen LL, et al. Identification and characterization of potential performance-related gut microbiota in broiler chickens across various feeding trials. Appl Environ Microbiol. 2011;77(17):5868-5878. doi: 10.1128/AEM.00165-11
25. Walugembe M, Rothschild MF, Persia ME. Effects of high fiber ingredients on the performance, metabolizable energy and fiber digestibility of broiler and layer chicks. Anim Feed Sci Tech. 2014;188:46-52. doi:10.1016/j.anifeedsci.2013.09.012
26. Zdunczyk Z, Jankowski J, Kaczmarek S, Juskiewicz J. Determinants and effects of postileal fermentation in broilers and turkeys part 1: gut microbiota composition and its modulation by feed additives. World's Poult Sci J. 2015;71(1):37-48. doi: 10.1017/S0043933915000045

## References

1. Fisinin VI, Il'ina LA, Iyldyrym EA, Nikonov IN, Filippova VA, Laptev GYu, Novikova NI, Grozina AA, Lenkova TN, Manukyan VA, Egorov IA. Broiler cecal microbiocenoses depending on mixed fodder. Microbiologiya. 2016;85(4):472-480. doi: 10.7868/S0026365616040054
2. Kononenko SI, Gulits AF. Effect of triticale extrusion on the development of geese's internal organs. Proceedings of the Gorsky State Agrarian University. 2015;52(1):78-82.
3. Garipova NV, Miroshnikov SA, Holodilina TN, Kurilkina MYa, Vanshin VV, Zelepukhin AG, Ryabov NI. Nutritional and productive action of bran, modified in the presence of particulate iron. Vestnik of the Orenburg State University. 2012;10(146):117-121.

4. Pugachyov P. Employing potential of pressing with extrusion. *Livestock in Russia*. 2021;3:58-60.
5. Slezko EI, Gaponova VE. Impact of the extrusion process on the feed nutritional quality. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2021;1(41):66-70. doi: 10.51794/27132064-2021-1-66
6. Frolov DI, Kudrina AN. The influence of extrusion conditions and parameters on the properties of corn grits extrudates. *Innovative machinery and technologi*. 2020;2(23):17-23. *(In Russ)*].
7. Kholodilina TN, Miroshnikov SA, Zinyukhin GB, Sokolova OYa, Rodionova GB. Effectiveness of technology for processing buckwheat hulls by the use of chemical and barohydrothermal treatment. *Vestnik of the Russian Academy Agricultural Sciences*. 2008;1:62-64.
8. Bach Knudsen KE. The nutritional significance of «dietary fibre» analysis. *Anim Feed Sci Technol*. 2001;90(1-2):3-20. doi: 10.1016/S0377-8401(01)00193-6
9. Bolm C, Hernández JG. From synthesis of amino acids and peptides to enzymatic catalysis: a bottom-up approach in mechanochemistry. *ChemSusChem*. 2018;11(9):1410-1420. doi: 10.1002/cssc.201800113
10. Chen Y, Wang J, Yu L, Xu T, Zhu N. Microbiota and metabolome responses in the cecum and serum of broiler chickens fed with plant essential oils or virginiamycin. *Scientific Reports*. 2020;10:5382. doi: 10.1038/s41598-020-60135-x
11. Crawford DE. Extrusion – back to the future: Using an established technique to reform automated chemical synthesis. *Beilstein J. Org. Chem*. 2017;13:65-75. doi: 10.3762/bjoc.13.9
12. Gabriel I, Lessire M, Mallet S, Guillot JF. Microflora of the digestive tract: critical factors and consequences for poultry. *World's Poultry Science Journal*. 2006;62(3):499-511. doi: 10.1017/S0043933906001115
13. Gheorghe A, Lefter NA, Idriceanu L, Ropotă M, Hăbeanu M. Effects of dietary extruded linseed and *Lactobacillus acidophilus* on growth performance, carcass traits, plasma lipoprotein response, and caecal bacterial populations in broiler chicks. *Italian Journal of Animal Science*. 2020;19:822-832. doi: 10.1080/1828051X.2020.1801359
14. Iji PA, Saki AA, Tivey DR. Intestinal development and body growth of broiler chicks on diets supplemented with non-starch polysaccharides. *Anim Feed Sci Technol*. 2001;89(3-4):175-188. doi: 10.1016/S0377-8401(00)00223-6
15. Kholodilina TN, Atlanderova KN, Kurilkina MYa. Effect of the extrusion process on the amino acid components profile of the broilers 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;848:012056. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012056
16. Kholodilina TN. Efficiency of the introduction of different Ca levels in broiler chicken diets as part of dietary fiber extrudates. *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;624:012051. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012051
17. Konieczka P, Kaczmarek SA, Hejdysz M, Kinsner M, Szkopek D, Smulikowska S. Effects of faba bean extrusion and phytase supplementation on performance, phosphorus and nitrogen retention, and gut microbiota activity in broilers. *J Sci Food Agric*. 2020;100(11):4217-4225. doi: 10.1002/jsfa.10461
18. Krogdahl A. Antinutrients affecting digestive function and performance in poultry. In: Larbier DM, editor. *Proceedings of the 7th European Poultry conf., Paris Wids. Poultry Sci Assoc., 24-28 Aug.; Paris: Branche Francaise; 1986:239-248*.
19. Kumar S, Shang Y, Kim WK. Insight into dynamics of gut microbial community of broilers fed with fructooligosaccharides supplemented low calcium and phosphorus diets. *Front Vet Sci*. 2019;6:95. doi: 10.3389/fvets.2019.00095
20. Redig PT. The avian ceca: obligate combustion chambers or facultative afterburners? – The conditioning influence of diet. *J Exp Zool*. 1989;252(23):66-69. doi: 10.1002/jez.1402520511

21. Rick SC, Van Der Aar PJ, Fahey GCJr, Berger LL. Influence of dietary fiber on performance and fermentation characteristics of gut contents from growing chicks. *Poult Sci.* 1982;61(7):1335-1343. doi: 10.3382/ps.0611335
22. Sandford EE, Orr M, Balfanz E, Bowerman N, Li X, Zhou H, Johnson TJ, et al. Spleen transcriptome response to infection with avian pathogenic *Escherichia coli* in broiler chickens. *BMC Genomics.* 2011;12:469. doi: 10.1186/1471-2164-12-469
23. Stanley D, Denman SE, Hughes RJ, Geier MS, Crowley TM, Chen H, et al. Intestinal microbiota associated with differential feed conversion efficiency in chickens. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2012;96:1361-1369. doi: 10.1007/s00253-011-3847-5
24. Torok VA, Hughes RJ, Mikkelsen LL, et al. Identification and characterization of potential performance-related gut microbiota in broiler chickens across various feeding trials. *Appl Environ Microbiol.* 2011;77(17):5868-5878. doi: 10.1128/AEM.00165-11
25. Walugembe M, Rothschild MF, Persia ME. Effects of high fiber ingredients on the performance, metabolizable energy and fiber digestibility of broiler and layer chicks. *Anim Feed Sci Tech.* 2014;188:46-52. doi:10.1016/j.anifeedsci.2013.09.012
26. Zdunczyk Z, Jankowski J, Kaczmarek S, Juskiewicz J. Determinants and effects of postileal fermentation in broilers and turkeys part 1: gut microbiota composition and its modulation by feed additives. *World's Poult Sci J.* 2015;71(1):37-48. doi: 10.1017/S0043933915000045

**Информация об авторах:**

**Татьяна Николаевна Холодилина**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий Испытательным центром ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января 29, тел.: +79128487473.

**Татьяна Андреевна Климова**, заведующий лабораторией микробиологии Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января 29, тел.: 8(3532)77-39-97.

**Марина Яковлевна Курилкина**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января 29, тел.: 8(3532)77-39-97.

**Владимир Валерьевич Ваншин**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии пищевых производств, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр-т Победы 13, тел.: +79123442180.

**Information about authors:**

**Tatyana N Kholodilina**, Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Testing Center of the Central Common Use Center, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 January St., Orenburg, 460000, tel.: +79128487473.

**Tatyana A Klimova**, Head of the Laboratory of Microbiology of the Testing Center of the Central Common Use Center, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 January St., Orenburg, 460000, tel.: 8(3532)77-39-97.

**Marina Ya Kurilkina**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Testing Center, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 January St., Orenburg, 460000, tel.: 8(3532)77-39-97.

**Vladimir V Vanshin**, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Food Production Technology, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, tel.: +79123442180.

Статья поступила в редакцию 01.03.2022; одобрена после рецензирования 11.03.2022; принята к публикации 21.03.2022.

The article was submitted 01.03.2022; approved after reviewing 11.03.2022; accepted for publication 21.03.2022.