

УДК 636.5:636.085

DOI: 10.33284/2658-3135-103-2-133

**Ответ кишечной микрофлоры цыплят-бройлеров на введение пищевых волокон в рационы с разным уровнем кальция**

**Т.Н. Холодилина<sup>1,2</sup>, Т.А. Климова<sup>1,2</sup>, К.С. Кондрашова<sup>1,2</sup>, В.В. Ванишин<sup>2</sup>, В.Л. Королёв<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

<sup>2</sup>Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)

**Аннотация.** В статье описаны результаты исследований по оценке влияния экструдирования (горячая экструзия) корма на микробиом слепых отростков кишечника цыплят-бройлеров (кросс «Арбор-Айкрес») в условиях меняющихся дозировок кальция (CaCO<sub>3</sub> в концентрациях от 10 до 25 %). Уменьшение доли трудногидролизуемых углеводов в рационе способствовало снижению роста количества *Escherichia* в 5 раз относительно контроля, уменьшению роста *Staphylococcus*, *Clostridium perfringens*. Существенное влияние на биоценоз оказало введение CaCO<sub>3</sub>. Отмечался интенсивный рост как облигатной, так и условно-патогенной микрофлоры. Было установлено, что увеличение концентрации кальция в экструдате привело к значительному росту – до 1,96\*10<sup>9</sup> КОЕ/г (P≤0,001) *Lactobacillus* относительно контрольного рациона. При этом наибольший результат роста относительно контроля показывает опытная группа с 20 % вводом Ca – 7,23\*10<sup>9</sup> КОЕ/г (P≤0,001). Повышение дозировок Ca до 20 % приводит к максимальному росту *Escherichia* – в 7,3 раза выше, чем в контрольной группе. Для бактерий *Staphylococcus* установлен дозозависимый эффект при увеличении концентрации CaCO<sub>3</sub> от 10 до 20 %. В целом выявлена способность структуры рациона оказывать влияние на состав микробиома слепого отростка кишечника, что в дальнейших исследованиях позволит, используя биотические взаимоотношения между бактериями, получать физиологический ответ показателями продуктивности птицы.

**Ключевые слова:** цыплята-бройлеры, кормление, микрофлора кишечника, слепые отростки, экструзия, кальций, пищевые волокна.

UDC 636.5:636.085

**The response of the intestinal microflora of broiler chickens to the introduction of dietary fiber in diets with different levels of calcium**

**Tatyana N Kholodilina<sup>1,2</sup>, Tatyana A Klimova<sup>1,2</sup>, Kristina S Kondrashova<sup>1,2</sup>, Vladimir V Vanshin<sup>2</sup>, Vladimir L Korolyov<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup> Orenburg State University (Orenburg, Russia)

**Summary.** The article describes the results of studies evaluating the effect of extrusion (hot extrusion) of feed on the microbiome of cecum of the intestines of broiler chickens (Arbor-Acres cross) under varying dosages of calcium (CaCO<sub>3</sub> in concentrations from 10 to 25%). A decrease in the proportion of hardly hydrolyzable carbohydrates in the diet contributed to a 5-fold decrease in the number of *Escherichia* relative to the control, and a decrease in the growth of *Staphylococcus*, *Clostridium perfringens*. The introduction of CaCO<sub>3</sub> had a significant effect on the biocenosis. Intensive growth of both obligate and conditionally pathogenic microflora was noted. It was found that an increase in the concentration of calcium in the extrudate led to a significant increase - up to 1.96 \* 10<sup>9</sup> CFU/g (P≤0.001) of *Lactobacillus* relative to the control diet. In this case, the greatest growth result relative to the control is shown by the experimental group with 20% Ca injection - 7.23 \* 10<sup>9</sup> CFU / g (P≤0.001). Increasing Ca dosages to 20% leads to a maximum growth of *Escherichia*, 7.3 times higher than in the control group. For *Staphylococcus* bacteria, a dose-dependent effect was established with an increase in the concentration of CaCO<sub>3</sub> from 10 to 20%. In general, the ability of the structure of the diet to influence the composition of the microbiome of cecum of the intestine was revealed, which in further studies will allow, using biotic relationships between bacteria, to obtain a physiological response in terms of bird productivity.

**Key words:** broiler chickens, feeding, intestinal microflora, cecum, extrusion, calcium, dietary fiber.

### **Введение.**

Организм птицы – открытая система, тонко реагирующая на малейшие изменения во внешней среде. Во многом это становится возможным через тесное взаимодействие организма хозяина с миллиардами микроорганизмов, населяющих пищеварительный тракт. По независимым оценкам, ферментативная вооружённость микробиома во много раз превосходит организм птицы. В связи с чем адаптация птицы к меняющимся условиям питания реализуется с адаптационными изменениями состава и соотношения микроорганизмов желудочно-кишечного тракта (Тимошко М.А., 1990; Тараканов Б.В., 2006; Salanitro J et al., 1974). Это обстоятельство получило неожиданное применение в современных условиях, когда на фоне волатильности цен на рынке зерновых промышленное птицеводство всё больше внимания уделяет использованию в кормах компонентов с большим содержанием пищевых волокон (Bach Knudsen KE, 2001; Холодилина Т.Н. и др., 2008; Гарипова Н.В. и др., 2012). Таким образом, понимание адаптационных изменений в микробиоме птицы оказывается тесно связано с экономикой отрасли.

Как следует из анализа накопленных наукой данных, увеличение содержания клетчатки в рационах негативно сказывается на потреблении кормов и продуктивности птицы (Rich SC et al., 1982; Krogdahl A, 1986; Iji PA et al., 2001). Трудногидролизуемые углеводы стимулируют рост пробиотических бактерий, таких как *Bifidobacteria* и *Lactobacillus* (Фисинин В.И., 2016; Wang Y et al., 2010; Boguslawska-Tryk M et al., 2012). Основным продуктом анаэробного бактериального синтеза клетчатки в толстом кишечнике являются летучие жирные кислоты, которые активируют местный и системный иммунитет организма (Rinttilä T, 2013; Selle PH et al., 2009; Walk CL et al., 2012).

Вместе с тем избежать снижения продуктивности при использовании больших количеств некрахмальных полисахаридов в кормлении птицы можно через предварительную обработку кормов. Одним из таких решений является предварительная экструзионная обработка с включением минеральных кормовых добавок, в частности кальция (Kurilkina MYa et al., 2019). Известно, что высокие дозировки кальция в рационе неоднозначно влияют на минеральный обмен (Salama ES et al., 2020; Simpson CJ and Wise A, 1990) и могут приводить к снижению продуктивности (Hurwitz S et al., 1978; Powell S et al., 2011; Guinotte F et al., 1995). Характеристики кишечного микробного сообщества зависят от концентрации данного элемента (Sebastian S et al., 1996; Несвижский Ю.В. и др., 2008), в связи с этим весьма перспективна возможность коррекции микробиомов препаратами кальция. Информации о влиянии некрахмальных полисахаридов, экструдированных с кальцием, на кишечный микробиом недостаточно, что и определяет цель нашего исследования.

### **Цель исследования.**

Сравнительное изучение микробного сообщества слепой кишки цыплят-бройлеров на фоне замены зерновой части рационов на пищевые волокна с разным уровнем кальция.

### **Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Цыплята-бройлеры кросса «Арбор-Айкрес», просветная микрофлора кишечника.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями Russian Regulations, 1987 (Order No.755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996)». При выполнении исследований были предприняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых образцов.

**Схема эксперимента.** Исследования проводились на базе вивария ФНЦ БСТ РАН (пос. Черноречье, Оренбургский район Оренбургской области).

В качестве источника пищевых волокон в исследовании были использованы пшеничные отруби. Процесс экструдирования производился при помощи универсального одношнекового пресс-экструдера ПШ30/1 при влажности смеси 30 %.

На основании данных индивидуального взвешивания методом пар-аналогов были сформированы 6 групп (n=30) – одна контрольная и пять опытных.

Основной рацион включал полнорационные комбикорма с питательностью согласно рекомендациям ВНИТИП. Состав ростового рациона для птиц включал: пшеницу – 223 г/кг; кукурузу – 320 г/кг; отруби пшеничные – 100 г/кг; шрот соевый – 145 г/кг; шрот подсолнечный – 70 г/кг; мука рыбная – 52,7 г/кг; масло подсолнечное – 50 г/кг; монохлоргидрат лизина – 1 г/кг; dl-метионин – 1 г/кг; l-треонин – 1 г/кг; соль поваренная – 3,0 г/кг; монокальцийфосфат – 7,0 г/кг; мел кормовой – 3 г/кг; известняковая мука – 5 г/кг; сода пищевая (бикарбонат натрия) – 1,0 г/кг; БВМД Эра-2 – 20 г/кг.

Начиная с 21 суток, в рационе цыплят опытных групп отруби заменяли на экструдированные корма: в I опытной группе – на экструдированные отруби, II – на экструдированную смесь отрубей (90 %) и CaCO<sub>3</sub> (10 %); III – экструдированную смесь отрубей (85 %) и CaCO<sub>3</sub> (15 %); IV – экструдированную смесь отрубей (80 %) и CaCO<sub>3</sub> (20 %); V – экструдированную смесь отрубей (75 %) и CaCO<sub>3</sub> (25 %).

Живую массу цыплят определяли еженедельным индивидуальным взвешиванием, потребление корма – ежедневным учётом заданных кормов и их остатков по общепринятым методикам (Фисинин В.И., 2013).

Изучение микрофлоры кишечника производили на основе изучения биопроб, отобранных в ходе убоя 42-суточной птицы. После вскрытия птицы содержимое слепого кишечника помещали в стерильные микропробирки типа «эппендорф», которые не позднее 1 часа после убоя доставлялись в сумках-холодильниках в лабораторию для проведения посевов.

Для исследования анаэробов использовали анаэростаты АЭ-01. Создание необходимой для культивирования микроорганизмов атмосферы проводили с помощью химических газогенерирующих пакетов.

Для получения исходного разведения (10<sup>-1</sup>) брали 1 грамм содержимого слепого кишечника, гомогенизировали в 9 мл физиологического раствора (0,85 % NaCl). Оставляли при комнатной температуре на 10-15 минут. Далее готовили ряд последующих разведений бактериальной суспензии в физиологическом растворе (табл. 1).

Таблица 1. Схема разведений, условия и применяемые среды  
Table 1. Dilution scheme, conditions and media used

Наименование среды/ Name of medium	Наименование микроорга- низма/Name of microorganism	Условия культивирова- ния (°C, t)/ Cultivating conditions (°C, t)	Высеваемые разведения/ Plated cultures
1	2	3	4
<b>Аэробные микроорганизмы/ Aerobic microorganisms</b>			
Агар Байрд-Паркера/ <i>Baird-Parker agar</i>	Бактерии рода <i>Staphylococcus</i>	+35 °C, 24-48 ч/ч	10 <sup>-3</sup>
Агар дифференциаль- но-диагностический для <i>Proteus</i> / <i>Differential diagnostic agar for Proteus</i>	Бактерии рода <i>Proteus</i>	+36±1 °C, 48 ч/ч	10 <sup>-3</sup>
Агар Эндо/ <i>Endo agar</i>	Бактерии рода <i>Escherichia</i>	+37 °C, 18-20 ч/ч	10 <sup>-6</sup>
Висмут-сульфит агар/ <i>Bismuth Sulphite Agar</i>	Бактерии рода <i>Salmonella</i>	+37 °C, 48 ч/ч	10 <sup>-1</sup>
<b>Анаэробные микроорганизмы/ Anaerobic microorganisms</b>			
Среда MRS/ <i>MRS medium</i>	Бактерии рода <i>Lactobacillus</i>	+35±2 °C, 48 ч/ч	10 <sup>-7</sup>
Бифидум-среда/ <i>Bifidum medium</i>	Бактерии рода <i>Bifidobacterium</i>	+37 °C, 48 ч/ч	10 <sup>-7</sup>
Сульфитный агар/ <i>Sulphite agar</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	+37 °C, 24 ч/ч	10 <sup>-5</sup>
Энтерококкагар/ <i>Enterococcus agar</i>	Бактерии рода <i>Enterococcus</i> ( <i>E. faecalis</i> , <i>E. faecium</i> )	+37 °C, 48 ч/ч	10 <sup>-4</sup>

Идентификацию и определение количества микроорганизмов в 1 грамме проводили по формуле 1.

$$M = N \times 10^{n+1},$$

где M – число микроорганизмов в 1г;

N – количество выросших колоний на чашках;

n – степень разведения материала.

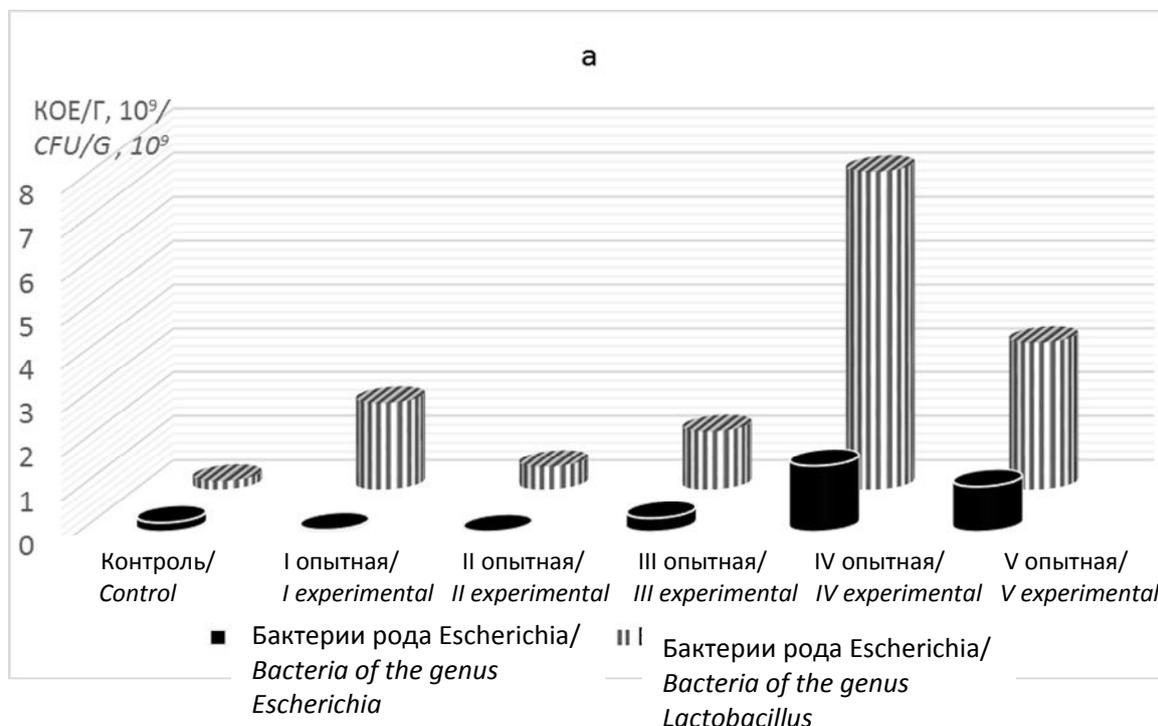
**Оборудование и технические средства.** Исследования микробиоты кишечника проводили в Испытательном центре ЦКП БСТ РАН (Лицензия на осуществление деятельности, связанной с выполнением работ с возбудителями инфекционных заболеваний 4 группы патогенности, № 56.01.15.001.Л.000044.07.09 от 10.07.2009 г.). Пресс-экструдер ПШ30/1 (Россия), весы лабораторные электронные ВЛТЭ-1100 (Россия), микропробирки «эппендорф» («NuovaAptaca S.R.L.», Италия), анаэростаты АЭ-01 (Россия).

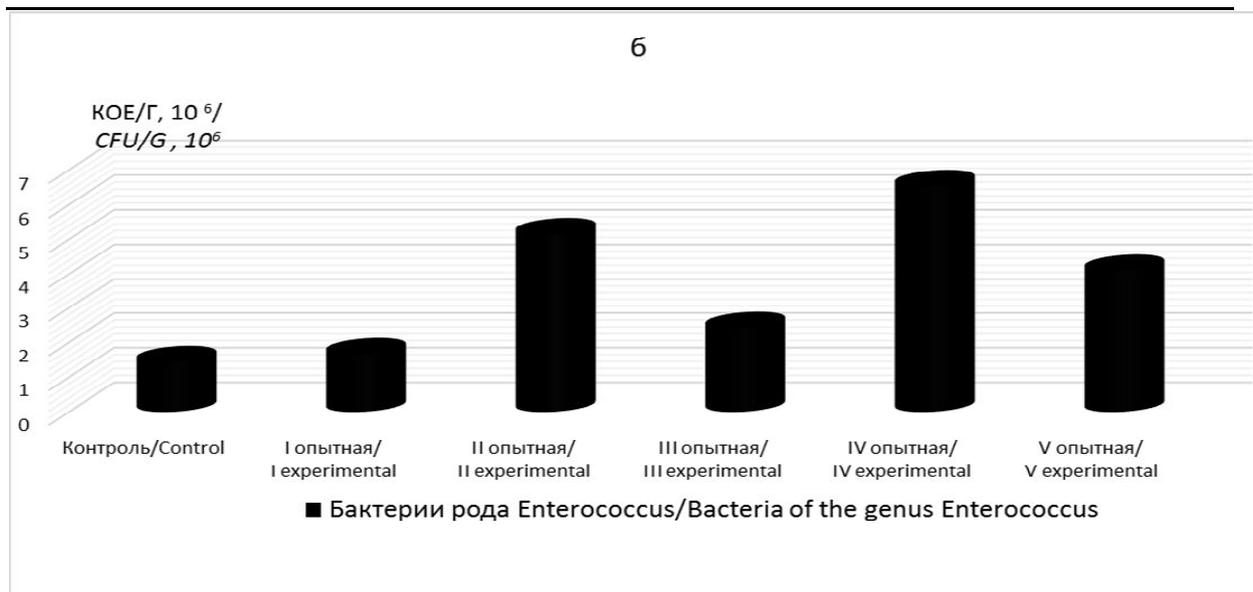
**Статистическая обработка.** Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета программ «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США), включая определение средней арифметической величины (M), стандартной ошибки средней (m). Достоверными считали результаты при  $P < 0,05$ .

#### Результаты исследований.

Из представителей облигатной микрофлоры кишечника цыплят-бройлеров были изучены бифидобактерии, лактобактерии, энтерококки и кишечная палочка.

В группе подопытной птицы, получавшей основной рацион, роста бифидобактерий не обнаружено. Включение экструдированных отрубей в I опытной группе сопровождалось интенсивным ростом *Bifidobacterium* в виде утолщённых «комет». При вводе кальциевого компонента в экструдат был отмечен дозозависимый эффект с увеличением концентраций  $\text{CaCO}_3$  от 15 % до 25 %. При этом в IV и V опытных группах характер роста колоний представляли собой более тонкие «тяги».





**Рис. 1 – а,б. Представленность облигатной микрофлоры в слепых отростках кишечника птицы**  
**Figure 1 а,б. Representation of obligate microflora in cecum of bird intestine**

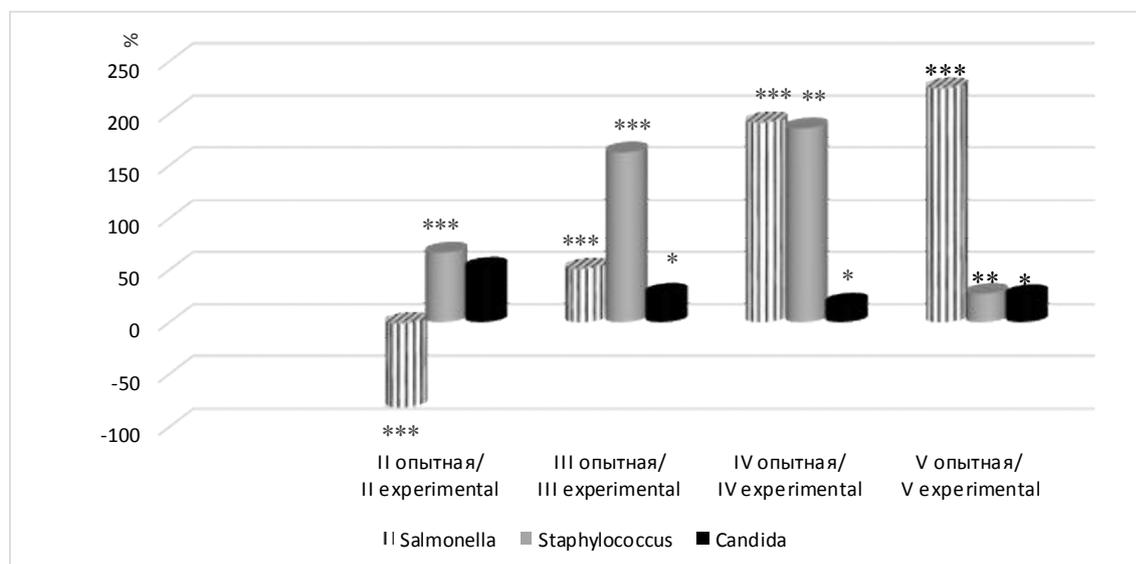
Уменьшение количества неперевариваемой клетчатки в рационе путём экструдирования отрубей стимулировало рост *Lactobacillus* до  $1,96 \cdot 10^9$  КОЕ/г ( $P \leq 0,001$ ) относительно контроля. Тенденция к увеличению лактобактерий сохранялась при различных уровнях кальция. Рост количества бактерий в опытных группах в зависимости от процента ввода кальцийсодержащей добавки не имеет линейного характера и изменяется в ряду 10 % < 15 % < 25 % < 20 %. Наибольший ответ был в группе, получавшей экструдат с 20 %  $\text{CaCO}_3$  ( $P \leq 0,001$ ), увеличение составило порядка 268 % относительно I группы. Более низкие дозировки введения во II и III опытных группах снизили рост *Lactobacillus* на 73,9 % и 33,1 % ( $P \leq 0,001$ ) соответственно. Дальнейшее увеличение концентрации  $\text{CaCO}_3$  в экструдате до 25 % приводит количество бактерий этого семейства к снижению до  $3,34 \cdot 10^9$  КОЕ/г (рис. 1а).

Введение в рацион птицы I опытной группы экструдата привело к уменьшению количества *Escherichia* в 5 раз относительно контроля. Ответ на введение кальция достигает максимального значения в IV опытной группе, рост относительно I опытной составил 7,5 раза ( $P \leq 0,001$ ), введение 25 %  $\text{CaCO}_3$  сопровождалось снижением количества *Escherichia* с  $1,49 \cdot 10^9$  до  $1,02 \cdot 10^9$  КОЕ/г. Во II опытной группе наблюдался минимальный рост.

При оценке бактерий рода *Enterococcus* идентифицировали два вида – *E. faecalis* и *E. faecium*. Значимой реакции на введение экструдированного продукта в I опытной группе со стороны бактерий не последовало. А включение кальция в опытные группы привело к росту *Enterococcus* в 3,1 раза ( $P \leq 0,001$ ) при 10 % вводе  $\text{CaCO}_3$ , в 4 раза ( $P \leq 0,001$ ) – при дозировке 20 %. В целом увеличение количества колоний *Enterococcus* происходит в ряду опытных групп: III < V < II < IV (рис. 1б).

Изменение структуры рациона отразилось и на факультативной микрофлоре кишечника.

Патогенные бактерии рода *Salmonella* из содержимого кишечника контрольной группы не высевались. Однако с введением экструдированных кормов отмечается рост *Salmonella* до  $62,33 \pm 9,02$  КОЕ/г ( $P \leq 0,001$ ) (рис. 2).



**Рис. 2 – Динамика факультативной микрофлоры в слепых отростках кишечника птицы**  
**Figure 2 – Dynamics of facultative microflora in cecum of bird intestine**

Замена нативной части отрубей экструдатом в I опытной группе привела к некоторому снижению в росте *Staphylococcus*. Дополнительное введение в экструдат кальцийсодержащей добавки стимулирует рост количества бактерий, установлен дозозависимый эффект при увеличении концентрации  $\text{CaCO}_3$  до 20 %. Дальнейшее увеличение дозировки  $\text{CaCO}_3$  до 25 % оказывает угнетающее действие на рост *Staphylococcus*, количество бактерий контрольной и V опытной групп не отличается, однако отличие V опытной группы от I опытной, получавшей рацион без введения добавок кальция, составило 27,8 % ( $P \leq 0,001$ ) (рис. 2). Увеличение роста *Staphylococcus* происходит в ряду опытных групп: II < III < IV. В IV опытной группе при введении 20 %  $\text{CaCO}_3$  в экструдат количество бактерий относительно I опытной группы достигает 186,6 % ( $P \leq 0,001$ ).

Грибы рода *Candida* реагируют на увеличение дозировок кальция достоверным ростом в опытных группах с III по V. Преобразование клетчатки экструдированием увеличивает содержание грибов в 1,5 раза относительно контроля.

Рост бактерий *Clostridium* в контроле и I опытной группе не обнаружен, увеличение до  $1,17 \cdot 10^7$  КОЕ/г достигается во II опытной группе на фоне введения 10 % кальцийсодержащего компонента. Сплошной рост клостридий был зафиксирован при введении  $\text{CaCO}_3$  в экструдат в количестве 20 % (рис. 3).



**Рис. 3 – Рост *Clostridium* в контрольной и опытных группах (слева направо: контроль, I-V опытные группы)**  
**Figure 3 – The growth of *Clostridium* in control and experimental groups (left to right: control, I-V experimental groups)**

Бактерии рода *Proteus* и *Shigella* не были обнаружены ни в одной из групп.

Таблица 2. Ответ микрофлоры на снижение содержания клетчатки (I) и увеличение содержания Са (II-V)

Table 2. The response of microflora to a decrease in fiber (I) and an increase in Ca (II-V)

Наименование микроорганизма/Name of microorganism	Группа/Group				
	I	II	III	IV	V
<i>Bifidobacterium</i>	↑(a)	-	↑(a) ↓(b)	↑(a,b)	↑(a,b)
<i>Lactobacillus</i>	↑*** (a)	↑** (a) ↓*** (b)	↑*** (a) ↓** (b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)
<i>Escherichia</i>	↓*** (a)	↓*** (a,b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)
<i>Enterococcus</i>	↑(a)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)
Грибы рода <i>Candida</i>	↑(a)	↑(a,b)	↑*(a) ↑(b)	↑*(a) ↑(b)	↑*(a) ↑(b)
<i>Staphylococcus</i>	↓(a)	↑*(a) *** (b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)	↑(a) ↑** (b)
<i>Clostridium perfringens</i>	-	↑*** (a,b)	↑** (a,b)	↑*** (a,b)	↑** (a,b)
<i>Salmonella</i>	↑*** (a)	↑(a) ↓** (b)	↑*** (a) ↑(b)	↑*** (a,b)	↑*** (a,b)

Примечание: «-» – нет роста; (a) – по отношению к контрольной группе; (b) – по отношению к I опытной группе; \* –  $P \leq 0,05$ , \*\* –  $P \leq 0,01$ , \*\*\* –  $P \leq 0,001$

Note: «-» – no growth (a) – in relation to the control group (b) – in relation to the experimental group; \* –  $P \leq 0,05$ , \*\* –  $P \leq 0,01$ , \*\*\* –  $P \leq 0,001$

Анализ общей динамики микробиома слепого кишечника в зависимости от изменений структуры рациона показывает, что снижение трудногидризуемых углеводов в рационе путём экструзии провоцирует общий рост исследуемых бактерий, за исключением таких представителей факультативной микрофлоры, как *Escherichia*, *Staphylococcus*, *Clostridium perfringens* (табл. 2). В зависимости от уровня кальция в рационе меняется соотношение симбиотной и условно-патогенной микрофлоры, однако увеличение концентраций  $\text{CaCO}_3$  приводит к активному достоверному росту всех исследуемых микроорганизмов как относительно контроля, так и относительно I опытной группы.

Показатели продуктивности птицы связаны с микробиоценозом, экструдирование отрубей способствовало росту опытной птицы во всех группах, так, наибольшая живая масса на конец эксперимента – 2590,0 г зафиксирована в I опытной группе, абсолютный прирост за эксперимент составил 1 926,00±97,99 г. Введение кальция в рацион в составе экструдата значимо не повлияло на динамику живой массы (табл. 3).

Таблица 3. Показатели продуктивности цыплят-бройлеров  
Table 3. Productivity indicators for broiler chickens

Показатель/Indicator	Группа/Group					
	Контроль/ Control	I	II	III	IV	V
Живая масса, г, на конец эксперимента/ Live weight, g, at the end of the experiment	2391,6±38,11	2590,0±98,0	2539,6±129,2	2450,4±121,9	2468,8±133,33	2378,40±95,93
Расход корма на 1 кг прирост живой массы/Feed consumption per 1 kg of live weight gain	1,84	1,97	1,81	1,83	1,88	1,92
Абсолютный прирост за эксперимент, г/ Absolute gain per experiment, g	1728,40±38,11	1926,00±97,99	1876,80±129,22	1787,40±121,91	1 805,20±133,33	1715,40±95,93

### Обсуждение полученных результатов.

Микробиом птицы – сложно организованная динамическая система, превосходящая организм хозяина по ферментативной вооружённости и гибко реагирующая на малейшие изменения в питании. Этот факт хорошо известен науке (Антонян А.А. и Горбунова Е.А., 2018). Не стали исключением и наши исследования. Как следует из полученных результатов, включение баротермически модифицированного корма в рацион сопровождалось значительными изменениями в интенсивности роста как облигатной, так и факультативной микрофлоры. В частности, отмечен рост *Bifidobacterium*. Известно, что бактерии этого рода, производя органические кислоты, смещают pH среды в кислую сторону и создают благоприятные условия для роста грибов *Candida*, которые связаны с ними мутуалистическими взаимоотношениями и в свою очередь обеспечивают анаэробные бактерии аминокислотами и витаминами (Костерина В.В. и др., 2009).

Исходя из анализа полученных данных, становится очевидным, что содержание патогенов в кишечнике птицы, в частности *Salmonella*, было отмечено только в опытных группах. Высокое содержание пищевых волокон в отрубях контрольной группы приводило к изменению кислотности среды за счёт деятельности *Bifidobacterium* и *Lactobacillus* (Walugembe M et al., 2014), что вероятно сдерживало рост патогенной макрофлоры. Введение экструдата в рацион путём замены нативных отрубей приводит к достоверному росту патогенной *Salmonella* в кишечнике птицы. Это происходит за счёт увеличения количества доступных углеводов в результате кратковременного воздействия давлением и температурой в процессе экструзии.

Результаты наших исследований показывают, что микробиом слепой кишки отвечает на введение в экструдат смеси отрубей и кальцийсодержащей добавки нарастанием количества эндогенной микрофлоры.

Так, увеличение концентрации кальция в рационе привело к резкому росту *Lactobacillus* относительно рациона без кальция. Это может быть связано с ответом микрофлоры на смещение водородного показателя в щелочную сторону, известно, что *Lactobacillus* наряду с *Bifidobacterium*, ферментируя трудногидролизуемые углеводы, вырабатывают уксусную кислоту (Sanjay K et al., 2019; Bryant MP et al., 1958).

Наряду с этим рост *Escherichia coli* в опытных группах может объясняться тем, что в отличие от анаэробов они не секретируют внеклеточные полисахаридные гидролазы и поэтому не могут использовать пищевые волокна. Есть предположение (Sandford et al., 2011; Tyrrell C and Paul S, 2015), что комменсальные и патогенные штаммы *Escherichia coli* колонизируют толстую кишку путём роста в кишечной слизи (Sweeney NJ et al., 1996; Franklin DP et al., 1990), они зависят от анаэробов, присутствующих в слизи, которые могут обеспечивать их моно- и дисахаридами и мальтодекстринами, необходимыми *E. coli* для роста. Высокое содержание кальция приводит к увеличению интенсивности роста кишечной палочки в 25 раз относительно контроля. *Clostridium* отреагировали интенсивным ростом на дозировку Са в 20 %. Известно, что данные бактерии зависят от уровня Са. Низкое содержание этого элемента в рационе сопряжено с повышением выработки фитазы и таким образом может улучшить усвоение минералов, аминокислот и увеличивает продуктивность птицы в целом (Jorgensen H et al, 1996).

Оценка общей динамики кишечного биоценоза показала, что наиболее существенное влияние на бактериальное сообщество оказывает поступление экструдированных кормов, снижение клетчатки в рационе приводит к уменьшению численности условно-патогенной микрофлоры. При увеличении содержания кальция произошла колонизация толстого кишечника сальмонеллой, стафилококком и другими транзитными микроорганизмами, что подтверждается работами, выполненными ранее (Vovee-Oudenhoven IM et al., 1999; Антонян А.А. и Горбунова Е.А., 2018). Однако изменения биоценоза не свидетельствуют о тяжёлых дисбиотических процессах в организме птиц, т. к. на фоне роста условно-патогенных бактерий идёт интенсивный рост нормофлоры. Вероятно, это объясняется эффектом так называемого кросс-кормления, когда активация роста одних бактерий за счёт введения субстратов стимулирует рост других (Holscher HD, 2017).

### Выводы

Включение трудногидролизуемых углеводов снижает уровень патогенов в кишечнике. Экструдированные рационы с включением Са влияют на увеличение роста облигатной

микрофлоры, в то же время необходимо отметить дозозависимый рост условно-патогенных бактерий. Увеличение содержания Са в рационе цыплят следует осуществлять с осторожностью, изменения нормофлоры могут привести к запуску метаболических нарушений.

Необходимы дальнейшие исследования взаимодействия между различными видами микроорганизмов в кишечном биоценозе, используя для управления характеристиками микробного сообщества значительный потенциал перекрёстного скармливания.

#### Литература

1. Антонян А.А, Горбунова Е.А. Особенности межмикробных взаимоотношений микрофлоры толстого кишечника // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 1. С. 23. [Antonyan AA, Gorbunova EA. Features of the relationship between the microflora of the large intestine. *Mezhdunarodnyi studencheskii nauchnyi vestnik*. 2018;1:23. (In Russ)].
2. Бактериальное сообщество слепых отростков кишечника цыплят-бройлеров на фоне питательных рационов различной структуры / В.И. Фисинин, Л.А. Ильина, Е.А. Ёылдырым, 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, Nikonov IN, Filippova VA, Laptev GYu, Novikova NI, Grozina AA, Lenkova TN, Manukyan VA, Egorov IA. Broiler chicken cecal microbiocenoses depending on mixed fodder. *Microbiology*. 2016;85(4):493-499. (In Russ)]. doi: 10.1134/S0026261716040056
3. Изменение среднесуточной гемолитической и каталазной активности госпитальных штаммов ассоциативной микробиоты под действием экзометаболитов *Candida albicans* в эксперименте / В.В. Костерина, А.П. Рябинина, В.В. Леонов, В.В. Варницына, М.В. Николенко, Я.И. Паромова, Т.Х. Тимохина // Вестник Югорского государственного университета. 2009. № 3(14). С. 58-61. [Kosterina VV, Ryabinina AP, Leonov VV, Varnitsyna VV, Nikolenko MV, Paromova YaI, Timokhina TKh. Alteration in average daily hemolytic and catalase activity of hospital strains of the associative microbiota under the influence of *Candida albicans* exsometabolites (in experiment). *Yugra State University Bulletin*. 2009;3(14):58-61. (In Russ)].
4. 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: ВНИТИП, 2013. 51 с. [Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN, et al. Metodika provedeniya nauchnykh i proizvodstvennykh issledovaniy po kormleniyu sel'skokhozyaistvennoi ptitsy. Molekulyarno-geneticheskie metody opredeleniya mikroflory kishechnika. Sergiev Posad: VNITIP; 2013:51 p. (In Russ)].
5. 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)].
6. Сравнительный анализ роли кальция в изменчивости фекального и пристеночного микробного сообщества желудочно-кишечного тракта крыс / Ю.В. Несвижский, О.В. Рубальский, Е.А. Богданова, С.С. Афанасьев, А.А. Королёв, В.В. Зверев, Р.Н. Фетисов // Астраханский медицинский журнал. 2008. Т. 3. № 3. С. 49-53. [Nesvizhskii YuV, Rubal'skii OV, Bogdanova EA, Afanas'ev SS, Korolev AA, Zverev VV, Fetisov RN. Sravnitel'nyi analiz roli kal'tsiya v izmenchivosti fekal'nogo i pristenochного mикробного soobshchestva zheludochno-kishechnого trakta kryс. *Astrakhan Medical Journal*. 2008;3(3):49-53. (In Russ)].
7. Тараканов Б.В. Методы исследования микрофлоры пищеварительного тракта сельскохозяйственных животных и птицы. М.: Науч. мир, 2006. 187 с. [Tarakanov BV. Metody issledovaniya mikroflory pishchevaritel'nogo trakta sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh i ptitsy. Moscow: Nauch. mir; 2006:187 p. (In Russ)].

8. Тимошко М.А. Микрофлора пищеварительного тракта сельскохозяйственных животных. Кишинев: Штиинца, 1990. 161 с. [Timoshko MA. Mikroflora pishchevaritel'nogo trakta sel'skokhozyaistvennykh zhiivotnykh. Kishinev: Shtiintsa; 1990:161 p. (In Russ)].
9. Эффективность технологии переработки лузги гречихи с использованием химической и барогидротермической обработки / Т.Н. Холодильна, С.А. Мирошников, Г.Б. Зинюхин, О.Я. Соколова, Г.Б. Родионова // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2008. № 1. С. 62-64. [Kholodilina TN, Mirosnikov 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 of Agricultural Sciences. 2008;1:62-64. (In Russ)].
10. Bach Knudsen KE. The nutritional significance of «dietary fibre» analysis. Anim Feed Sci Technol. 2001;90(1-2):3-20. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00193-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00193-6)
11. Bogusławska-Tryk M, Piotrowska A, Burlikowska K. Dietary fructans and their potential beneficial influence on health and performance parameters in broiler chickens. J Cent Euro Agri. 2012;13(2):272-291. doi: 10.5513/JCEA01/13.2.1045
12. Bovee-Oudenhoven IM, Wissink ML, Wouters JT, Van der Meer R. Dietary calcium phosphate stimulates intestinal lactobacilli and decreases the severity of a salmonella infection in rats. J Nutr. 1999;129(3):607-612. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/129.3.607>
13. Bryant MP, Small N, Bouma C, Chu H. Bacteroides ruminicola n. sp. and Succinimonas amylyolytica; the new genus and species; species of succinic acid-producing anaerobic bacteria of the bovine rumen. J Bacterio. 1958;76(1):15-23.
14. Franklin DP, Laux DC, Williams TJ, Falk MC, Cohen PS. Growth of *Salmonella typhimurium* SL5319 and *Escherichia coli* F-18 in mouse cecal mucus: role of peptides and iron. FEMS Microbiol Ecol. 1990;74(2-3):229-240. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1990.tb01688.x>
15. Guinotte F, Gautron J, Nys Y, Soumarmon A. Calcium solubilization and retention in the gastrointestinal tract in chicks (*Gallus domesticus*) as a function of gastric acid secretion inhibition and of calcium carbonate particle size. Br J Nutr. 1995;73(1):125-139. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19950014>
16. Holscher HD. Dietary fiber and prebiotics and the gastrointestinal microbiota. Gut Microbes. 2017;4;8(2):172-184. doi: 10.1080/19490976.2017.1290756
17. Hurwitz S, Dubrov D, Eisner U, Risenfeld G, Bar A. Phosphate absorption and excretion in the young turkey, as influenced by calcium intake. J Nutr. 1978;108(8):1329-1335. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/108.8.1329>
18. 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. 200;89(3-4):175-188. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00223-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00223-6)
19. Jorgensen H, Zhao XQ, Knudsen KE, Eggum BO. The influence of dietary fiber source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. Br. J. Nutr. 1996;75(3):379-395. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19960141>
20. Krogdahl A. Antinutrients affecting digestive function and performance in poultry. Proceedings of the 7th European Poultry Conference, ed. Larbier DM. Paris, 1986;1:239-248.
21. 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
22. Kurilkina MYa, Zavyalov OA, Kholodilina TN, Muslyumova DM, Vanshin VV. Evaluation of the effectiveness of highly dispersed metal powders (Ca, Cu, Zn, Fe) used to increase digestibility and bioavailability of feed substrates. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019;341:012179. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012179
23. Powell S, Bidner TD, Southern LL. Phytase supplementation improved growth performance and bone characteristics in broilers fed varying levels of dietary calcium. Poult Sci. 2011;90(3):604-608. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01000>

24. 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: <https://doi.org/10.3382/ps.0611335>
25. Rinttilä T, Apajalahti J. Intestinal microbiota and metabolites - Implications for broiler chicken health and performance. *Journal of Applied Poultry Research.* 2013;22(3):647-658. doi: <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00742>
26. Salama ES, Jeon BH, Kurade MB, Patil SM, Usman M, Li X, Lim H. Enhanced anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease by calcium addition: Boost of biomethane production and microbial community shift. *Bioresour Technol.* 2020;296:122353. doi: 10.1016/j.biortech.2019.122353
27. Salanitro JP, Fairchild IG, Zgornicki YD. Isolation, culture characteristics, and identification of anaerobic bacteria from the chicken cecum. *Appl Microbiol.* 1974;27(4):678-687.
28. Sandford EE, Orr M, Balfanz E, Bowerman N, Li X, Zhou H, Johnson TJ, Kariyawasam S, Liu P, Nolan LK, Lamont SJ. Spleen transcriptome response to infection with avian pathogenic *Escherichia coli* in broiler chickens. *BMC Genomics.* 2011;12:469.
29. Sebastian S, Touchburn SP, Chavez ER, Lague PC. Efficacy of supplemental microbial phytase at different dietary calcium levels on growth performance and mineral utilization of broiler chickens. *Poult Sci.* 1996;75(12):1516-1523. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.0751516>
30. Selle PH, Cowieson AJ, Ravindran V. Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livest Sci.* 2009;124:126-141. doi: 10.1016/j.livsci.2009.01.006
31. Simpson CJ, Wise A. Binding of zinc and calcium to inositol phosphates (phytate) in vitro. *Br J Nutr.* 1990;64(1):225-232. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19900024>
32. Sweeney NJ, Laux DC, Cohen PS. *Escherichia coli* F-18 and *E. coli* K-12 Eda mutants do not colonize the streptomycin-treated mouse large intestine. *Infect Immun.* 1996;64(9):3504-3511.
33. Tyrrell C, Paul SC. Commensal and pathogenic *Escherichia coli* metabolism in the gut. *Microbiol Spectr.* 2015;3(3). doi: 10.1128/microbiolspec.MBP-0006-2014
34. Walk CL, Bedford MR, McElroy AP. Influence of limestone and phytase on broiler performance, gastrointestinal pH, and apparent ileal nutrient digestibility. *Poult Sci.* 2012;91(6):1371-1378. doi: 10.3382/ps.2011-01928
35. 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: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.09.012>
36. Wang Y, Zeng T, Wang SE, Wang W, Wang Q, Yu HX. Fructooligosaccharides enhance the mineral absorption and counteract the adverse effects of phytic acid in mice. *Nutrition.* 2010;26(3):305-311. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.04.014>

#### References

1. Antonyan AA, Gorbunova EA. Features of the relationship between the microflora of the large intestine. *International Student Scientific Herald.* 2018;1:23.
2. Fisinin VI, Il'ina LA, Iyldyrym EA, Nikonov IN, Filippova VA, Laptev GYu, Novikova NI, Grozina AA, Lenkova TN, Manukyan VA, Egorov IA. Broiler chicken cecal microbiocenoses depending on mixed fodder. *Microbiology.* 2016;85(4):493-499. doi: 10.1134/S0026261716040056
3. Kosterina VV, Ryabinina AP, Leonov VV, Varnitsyna VV, Nikolenko MV, Paromova YaI, Timokhina TKh. Alteration in average daily hemolytic and catalase activity of hospital strains of the associative microbiota under the influence of *Candida albicans* exsometabolites (in experiment). *Yugra State University Bulletin.* 2009;3(14):58-61.
4. Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN, et al. The methodology of scientific and industrial research on feeding poultry. Molecular genetic methods for the determination of intestinal microflora. *Sergiev Posad: VNITIP;* 2013:51 p.

5. Garipova NV, Miroschnikov 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.
6. Nesvizhskii YuV, Rubal'skii OV, Bogdanova EA, Afanas'ev SS, Korolev AA, Zverev VV, Fetisov RN. A comparative analysis of role of calcium in the variability of fecal and parietal microbial community of the gastrointestinal tract of rats. Astrakhan Medical Journal. 2008;3(3):49-53.
7. Tarakanov BV. Research methods for the microflora of the digestive tract of farm animals and poultry. Moscow: Scientific. World; 2006:187 p.
8. Timoshko MA. Microflora of the digestive tract of farm animals. Chisinau: Shtiintsa; 1990: 161 p.
9. Kholodilina TN, Miroschnikov 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 of Agricultural Sciences. 2008;1:62-64.
10. Bach Knudsen KE. The nutritional significance of «dietary fibre» analysis. Anim Feed Sci. Technol. 2001;90(1-2):3-20. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00193-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00193-6)
11. Bogusławska-Tryk M, Piotrowska A, Burlikowska K. Dietary fructans and their potential beneficial influence on health and performance parameters in broiler chickens. J Cent Euro Agri. 2012;13(2):272-291. doi: 10.5513/JCEA01/13.2.1045
12. Bovee-Oudenhoven IM, Wissink ML, Wouters JT, Van der Meer R. Dietary calcium phosphate stimulates intestinal lactobacilli and decreases the severity of a salmonella infection in rats. J Nutr. 1999;129(3):607-612. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/129.3.607>
13. Bryant MP, Small N, Bouma C, Chu H. Bacteroides ruminicola n. sp. and Succinimonas amylyolytica; the new genus and species; species of succinic acid-producing anaerobic bacteria of the bovine rumen. J Bacterio. 1958;76(1):15-23.
14. Franklin DP, Laux DC, Williams TJ, Falk MC, Cohen PS. Growth of *Salmonella typhimurium* SL5319 and *Escherichia coli* F-18 in mouse cecal mucus: role of peptides and iron. FEMS Microbiol Ecol. 1990;74(2-3):229-240. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1990.tb01688.x>
15. Guinotte F, Gautron J, Nys Y, Soumarmon A. Calcium solubilization and retention in the gastrointestinal tract in chicks (*Gallus domesticus*) as a function of gastric acid secretion inhibition and of calcium carbonate particle size. Br J Nutr. 1995;73(1):125-139. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19950014>
16. Holscher HD. Dietary fiber and prebiotics and the gastrointestinal microbiota. Gut Microbes. 2017;4;8(2):172-184. doi: 10.1080/19490976.2017.1290756
17. Hurwitz S, Dubrov D, Eisner U, Risenfeld G, Bar A. Phosphate absorption and excretion in the young turkey, as influenced by calcium intake. J Nutr. 1978;108(8):1329-1335. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/108.8.1329>
18. 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. 200;89(3-4):175-188. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00223-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00223-6)
19. Jorgensen H, Zhao XQ, Knudsen KE, Eggum BO. The influence of dietary fiber source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. Br J Nutr. 1996;75(3):379-395. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19960141>
20. Krogdahl A. Antinutrients affecting digestive function and performance in poultry. Proceedings of the 7th European Poultry Conference, ed. Larbier DM. Paris, 1986;1:239-248.
21. 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
22. Kurilkina MYa, Zavyalov OA, Kholodilina TN, Muslyumova DM, Vanshin VV. Evaluation of the effectiveness of highly dispersed metal powders (Ca, Cu, Zn, Fe) used to increase digestibility and bioavailability of feed substrates. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019;341:012179. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012179

23. Powell S, Bidner TD, Southern LL. Phytase supplementation improved growth performance and bone characteristics in broilers fed varying levels of dietary calcium. *Poult Sci.* 2011;90(3):604-608. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01000>

24. 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: <https://doi.org/10.3382/ps.0611335>

25. Rinttilä T, Apajalahti J. Intestinal microbiota and metabolites - Implications for broiler chicken health and performance. *Journal of Applied Poultry Research.* 2013;22(3):647-658. doi: <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00742>

26. Salama ES, Jeon BH, Kurade MB, Patil SM, Usman M, Li X, Lim H. Enhanced anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease by calcium addition: Boost of biomethane production and microbial community shift. *Bioresour Technol.* 2020;296:122353. doi: 10.1016/j.biortech.2019.122353

27. Salanitro JP, Fairchild IG, Zgornicki YD. Isolation, culture characteristics, and identification of anaerobic bacteria from the chicken cecum. *Appl Microbiol.* 1974;27(4):678-687.

28. Sandford EE, Orr M, Balfanz E, Bowerman N, Li X, Zhou H, Johnson TJ, Kariyawasam S, Liu P, Nolan LK, Lamont SJ. Spleen transcriptome response to infection with avian pathogenic *Escherichia coli* in broiler chickens. *BMC Genomics.* 2011;12:469.

29. Sebastian S, Touchburn SP, Chavez ER, Lague PC. Efficacy of supplemental microbial phytase at different dietary calcium levels on growth performance and mineral utilization of broiler chickens. *Poult. Sci.* 1996;75(12):1516-1523. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.0751516>

30. Selle PH, Cowieson AJ, Ravindran V. Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livest Sci.* 2009;124:126-141. doi: 10.1016/j.livsci.2009.01.006

31. Simpson CJ, Wise A. Binding of zinc and calcium to inositol phosphates (phytate) in vitro. *Br. J. Nutr.* 1990;64(1):225-232. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19900024>

32. Sweeney NJ, Laux DC, Cohen PS. *Escherichia coli* F-18 and *E. coli* K-12 Eda mutants do not colonize the streptomycin-treated mouse large intestine. *Infect. Immun.* 1996;64(9):3504-3511.

33. Tyrrell C, Paul SC. Commensal and pathogenic *Escherichia coli* metabolism in the gut. *Microbiol Spectr.* 2015;3(3). doi: 10.1128/microbiolspec.MBP-0006-2014

34. Walk CL, Bedford MR, McElroy AP. Influence of limestone and phytase on broiler performance, gastrointestinal pH, and apparent ileal nutrient digestibility. *Poult Sci.* 2012;91(6):1371-1378. doi: 10.3382/ps.2011-01928

35. 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: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.09.012>

36. Wang Y, Zeng T, Wang SE, Wang W, Wang Q, Yu HX. Fructooligosaccharides enhance the mineral absorption and counteract the adverse effects of phytic acid in mice. *Nutrition.* 2010;26(3):305-311. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.04.014>

**Холодилина Татьяна Николаевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий Испытательным центром ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; доцент кафедры экологии и природопользования, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр-т Победы 13, тел.: +79128487473, e-mail: [Xolodilina@rambler.ru](mailto:Xolodilina@rambler.ru)

**Климова Татьяна Андреевна**, специалист-техник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; аспирант, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр-т Победы 13, тел.: +79878494166, e-mail: [klimovat91@mail.ru](mailto:klimovat91@mail.ru)

**Кондрашова Кристина Сергеевна**, младший научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; аспирант Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр-т Победы 13, тел.: +79228408002, e-mail: christinakondrashova94@yandex.ru

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

**Королёв Владимир Леонтьевич**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-79

Поступила в редакцию 5 июня 2020 г.; принята после решения редколлегии 15 июня 2020 г.; опубликована 8 июля 2020 г./ Received: 5 June 2020; Accepted: 15 June 2020; Published: 8 July 2020