

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»**

**(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)**

---

Институт зоотехнии и биологии

Кафедра физиологии, этологии и биохимии животных

## **«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИОЛОГИИ ПИТАНИЯ»**



Сборник трудов Международной научно-практической конференции,  
посвящённой 100-летию со дня рождения член-корреспондента ВАСХНИЛ,  
профессора Валерия Ивановича Георгиевского

30-31 октября 2025, Москва

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»**

**(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)**

Сборник трудов Международной научно-практической конференции,  
посвящённой 100-летию со дня рождения член-корреспондента  
ВАСХНИЛ, профессора Валерия Ивановича Георгиевского

Научное электронное издание

Москва – 2026

УДК 591.1

ББК 28.673.1

А 43

Материалы публикуются по решению ученого совета института зоотехнии и биологии протокол № 274 от 16.12.2025

**Редакционная коллегия:** заведующий кафедрой физиологии, этологии и биохимии животных, д.б.н., доцент Вертипрахов В.Г., к.б.н. Сергееenkova Н.А., к.п.н., доцент Л.В. Верзунова.

**Актуальные проблемы физиологии питания:** сборник трудов Международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения член-корреспондента ВАСХНИЛ, профессора Валерия Ивановича Георгиевского /ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, 2026. – 166 с. – Текст: электронный.

В сборнике представлены статьи, связанные с физиологией питания продуктивных животных, в том числе результаты экспериментальных исследований с использованием фистульных животных, которые направлены на изучение механизмов регуляции, усвоения питательных веществ в процессе метаболизма. Представлены работы ученых Ирана, Швеции и РФ. Эта вторая научная конференция, которая проходит в стенах одного из старейших российских университетов на кафедре физиологии, этологии и биохимии животных, которая собирает ученых со многих вузов и НИИ страны.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Бузина О.В., Черемуха Е.Г., Блинова А.В., Сычева И.Н.</i> Минеральная полноценность рациона высокопродуктивных коров.....	6
<i>Василевский Н.В., Харитонов Е.Л., Березин А.С.</i> Влияние источника белка на рост телят в переходный период.....	15
<i>Григорьев А. М.</i> Оценка вкусовых и питательных свойств ярового рапса гибрида «F1 Айрос» в рационе кур с использованием фистульной технологии.....	22
<i>Загарин А.Ю., Ильина Л.А.</i> Здоровье кишечника цыплят-бройлеров при использовании в питании растительных экстрактов.....	28
<i>Карамушкина С.В.</i> Биохимические маркеры здоровья кишечника у животных с разным типом питания.....	39
<i>Карамушкина С. В.</i> Влияние продуктов производства сои на показатели рубцового пищеварения у овец.....	49
<i>Ксенофонтов Д.А.</i> Роль пищеварительного тракта в метаболизме кальция у моно - и полигастричных животных.....	55
<i>Лопатина В.В., Вертипрахов В.Г.</i> Влияние включения киноа в рацион кур-несушек на экзокринную функцию поджелудочной железы и минеральный обмен.....	63
<i>Mahdavi R., Hossein Piray A., Ghazi S., Nooriyan Soroor M. E., Malorodov V.V.</i> Impact of dietary guanidinoacetic acid and protein levels on the productive efficiency, egg quality, and intestinal health of aged laying hens exposed to heat stress.....	73
<i>Овчарова А.Н.</i> Пропионовокислые бактерии в рационе поросят-отъемышей...82	
<i>Полина С.И., Вертипрахов В.Г.</i> Эффективность фитазы «Экстра фай голд» в регуляции фосфорного обмена у кур-несушек.....	90
<i>Самсонова О.Е.</i> Инновационные направления производства продукции свиноводства.....	98
<i>Сергеенкова Н.А.</i> Гематологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при использовании в рационе белого люпина.....	105

<b>Сизова Е.А.</b> Минеральное питание и микробиом: вклад в реализацию генетического потенциала продуктивных животных.....	113
<b>Силин Д.А., Лебедев С. В.</b> Влияние комплекса пробиотика и ультрадисперсных частиц микроэлементов в кормлении кур-несушек на переваримость и морфологические показатели яиц.....	122
<b>Степанова Е.В., руководитель Мошкина С.В.</b> Влияние L-карнитина на физиологию пищеварения и обмена веществ у КРС.....	130
<b>Ткаченко Ю. Г., Блиадзе В.Г., Бардаш В.В.</b> Влияние энергопротеинового концентрата на рост и развитие тёлочек случного возраста.....	138
<b>Цыгуткин А.С.</b> Химический состав зерна белого люпина как основа белкового концентрата, используемого в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы.....	144
<b>Шаврина И. В., Лебедев С. В.</b> Динамика переваримости незаменимых аминокислот при введении в рацион различных форм кавитированной клетчатки.....	154
<b>Яловенко И.Д., Лебедев С.В.</b> Оценка биохимического состояния кур-несушек при обогащении рациона разными формами клетчатки.....	160

Все статьи публикуются в авторской редакции

УДК 636.2.034:084.4

## **МИНЕРАЛЬНАЯ ПОЛНОЦЕННОСТЬ РАЦИОНА ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ КОРОВ**

О.В. Бузина<sup>1</sup>, Е.Г. Черемуха<sup>1</sup>, А.В. Блинова<sup>2</sup>, И.Н. Сычева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет-МСХА имени  
К.А. Тимирязева, Калужский филиал, Калуга

<sup>2</sup>ООО «Агри-Фарм»

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет-МСХА имени  
К.А. Тимирязева, Москва

a\_helga@mail.ru

***Аннотация.** В статье проанализированы полноценность рационов кормления и показатели крови коров, характеризующие минеральный обмен в разные периоды лактации. Для изучения минерального обмена у дойных коров айрширской породы была исследована сыворотка крови на содержание ионов кальция, фосфора, магния, железа и хлоридов. Кровь отбиралась утром (до кормления) из хвостовой вены. Показатели минерального обмена в сыворотке крови определяли по периодам - новотельность (первый месяц после отела), раздой (2-4 месяц лактации), вторая половина лактации (5-7 месяц). Средний возраст животных, отобранных для исследования 2,7 лактации. Анализ рационов кормления выявил дефицит по многим компонентам (сырой протеин, переваримый протеин, сырая клетчатка, сахар, сырой жир, кальций, фосфор, витамин Д). Анализ результатов исследования сыворотки крови отобранных животных выявил, что концентрация кальция находилась ниже нижней границе физиологической нормы на 12,0-17,6 % в зависимости от стадии лактации. Снижение уровня фосфора в сыворотке крови наблюдалось в конце лактации, также в первые периоды лактации отмечалось нарушение кальций-фосфорного соотношения. Уровень магния в течении всех периодов ниже рефересных значений на 1,5-14,3 %. Дефицит минеральных веществ в*

*сыворотке крови, нарушение соотношения между ними указывает на погрешности кормления, провоцирует метаболический дисбаланс и развитие различных патологий.*

**Ключевые слова:** *минеральный обмен, высокопродуктивные коровы, макро - и микроэлементы, полноценность кормления.*

**Актуальность.** Раскрытие генетического потенциала животных возможно только при сбалансированном полноценном кормлении и соблюдении условий содержания [1-4]. Высокопродуктивные коровы с учетом их напряженного метаболизма особенно чувствительны к нарушениям кормления и содержания, даже если отклонения от нормы будут непродолжительными по времени [4-7]. Провоцируемый погрешностями в кормлении метаболический дисбаланс приводит к снижению молочной продуктивности, развитию различных патологий опорно-двигательной, пищеварительной и репродуктивной систем, уменьшает сроки хозяйственного использования коров [8].

Основными показателями, характеризующими минеральную составляющую рациона, являются содержание кальция, фосфора, кальций-фосфорное отношение, кислотная емкость и др. Проявление дефицита или избытка минеральных веществ в рационе в первую очередь проявится при биохимическом анализе крови, при этом нарушения можно зафиксировать еще до появления клинических признаков [7, 9, 10]. Цель исследования: изучить показатели минерального обмена у высокопродуктивных коров в разные период лактации.

**Материал и методы исследования.** Исследование проводили в условиях племенного хозяйства по айрширской породе в Тульской области, в 2025 году. Для исследования была отобрана группа коров в возрасте от 2 до 5 отела (средний возраст – 2,7 лактации), отелившихся в январе 2025 года. Определяли показатели минерального обмена в сыворотке крови (кальций, фосфор, магний, железо, хлориды) в период новотельности (первый месяц после отела), раздоя (2-4 месяца лактации) и во второй половине лактации (5-7 месяца). Исследование сыворотки крови коров проводилось на базе ООО «Клиническая

ветеринарная лаборатория» ФГБ НУ ВНИИФБиП животных (Калужская область).

Средняя живая масса коров – 560 кг. Условия кормления и содержания животных одинаковые. Содержание животных привязное, в типовом коровнике. Рационы животных по периодам лактации представлены в таблицах 1-2.

Таблица 1- Рацион кормления коров в период раздоя (суточный удой 35 кг, живая масса 560 кг)

Показатели	Силос кукурузный	Сенаж разнотравный	Кукуруза плющенная	Кк-60-1	Содержится в рационе
Количество корма, кг	25,00	14,50	2,00	12,90	264,65
Обменная энергия, КРС МДж	57,50	49,88	24,40	132,87	
Сухое вещество, г	6250,0	6525,0	1700,0	11197,2	25672,2
Сырой протеин, г	625,00	667,00	206,00	2360,7	3858,70
Переваримый протеин, г	350,00	333,50	146,00	2141,40	2970,90
Сырая клетчатка, г	1875,00	2276,50	76,00	915,90	5143,40
Сахар, г	150,00	333,50	80,00	516,00	1079,50
Сырой жир, г	250,00	145,00	84,00	372,81	851,81
Кальций, г	35,00	71,05	1,00	83,85	190,90
Фосфор, г	10,00	18,85	10,40	109,65	148,90
Магний, г	12,50	18,85	2,80	30,96	65,11
Железо, мг	1525,00	3016,00	606,00	2025,30	7172,30
Каротин, мг	500,00	362,50	13,60	25,80	901,90
Витамин, D ME	1250,00	2610,00	0,00	34,83	3894,83

Таблица 2 - Рацион кормления дойных коров (суточный удой 25 кг, живая масса 560 кг)

Показатели	Силос кукурузный	Сенаж разнотравный	Кукуруза плющенная	Кк-60-1	Патока кормовая	Солома	Содержится в рационе
Количество корма, кг	19,20	15,00	1,00	8,00	1,00	4,00	199,72
ОЭ, КРС МДж	44,16	51,60	12,20	82,40	9,36	19,04	
Сухое вещество, г	4800,0	6750,0	850,0	6944,0	800,0	3384,0	20144,0
Сырой протеин, г	480,00	690,00	103,00	1464,0	99,00	148,00	2836,0
Переваримый протеин, г	268,80	345,00	73,00	1328,0	60,00	20,00	2074,8
Сырая клетчатка, г	1440,00	2355,00	38,00	568,00	0,00	1456,00	4401,00
Сахар, г	115,20	345,00	40,00	320,00	543,00	12,00	1363,20
Сырой жир, г	192,00	150,00	42,00	231,20	0,00	52,00	615,20



Кальций, г	26,88	73,50	0,50	52,00	3,20	11,20	156,08
Фосфор, г	7,68	19,50	5,20	68,00	0,20	3,20	100,58
Магний, г	9,60	19,50	1,40	19,20	0,10	3,20	49,80
Железо, мг	1171,2	3120,0	303,00	1256,0	283,00	1440,0	6133,2
Каротин, мг	384,00	375,00	6,80	16,00	0,00	16,00	781,80
Витамин, D ME	960,00	2700,00	0,00	21,60	0,00	20,00	3681,60

Исследование кормов, входящих в состав рациона проводилось на базе ООО «ТК ЯРВЕТ» (Ярославская область).

Таблица 3 - Состав премикса для лактирующих коров в первую половину лактации

Показатели	Единицы измерения	«Ровимикс Коровы» (Лактирующие) (с Румистаром, монензимом натрия и бета каротином, 2 %)	Фактическое содержание компонентов премиксов в рационе
витамин А	МЕ	800000	120000
витамин Д3	МЕ	200000	30000
витамин Е	мг	5000	750
биотин	мг	100	15
бета каротин	мг	1500	225
Са	г	180	27
Р	г	20	3
Mg	г	150	22,5
Se total	мг	40	6
Fe	мг	4000	600
Mn		7000	1050
Zn	мг	8000	1200
Cu	мг	2000	300
I	мг	150	22,5
Co	мг	50	7,5
монензим натрия	мг	1750	262,5
румистар	г	62500	9375
антиоксидант	г	120	18
Sepiolite		20	3
Propandiol		5	0,75

Полученные результаты обработаны биометрически с применением программного приложения Microsoft Excel из программного пакета Microsoft Office 2010.

**Результаты и их обсуждение.** Мониторинг рационов кормления животных позволяет выявить недостатки в структуре и составе кормов, своевременно их подкорректировать в том числе за счет введения премиксов [4,

6]. Понимание погрешностей в кормлении дает возможность избежать нарушений обменных процессов в организме животных. Учитывая, что высокопродуктивные животные наиболее быстро реагируют на недостатки кормления, поэтому актуальным является определение фактического содержания питательных веществ в кормах рациона (таблица 4).

Таблица 4 - Сравнительная характеристика рационов кормления коров по периодам

Показатели	Первая половина лактации			Вторая половина лактации		
	Потребность в питательных веществах	Содержится в рационе	Фактическое содержание	Потребность в питательных веществах	Содержится в рационе	Фактическое содержание
Обменная энергия, КРС МДж	260,3	264,65	278,5	205,0	199,72	229,3
Сухое вещество, г	23350,0	25672,2	23810,0	19800,0	20144,0	21540,0
Сырой протеин, г	4105,0	3858,70	3666,0	2970,0	2836,0	2839,0
Переваримый протеин, г	2668,8	2970,90	2537,0	1950,0	2074,8	1974,0
Сырая клетчатка, г	4110,0	5143,40	3463,0	4160,0	4401,00	4346,0
Сахар, г	2911,3	1079,50	1487,0	2911,3	1363,20	1574,0
Сырой жир, г	935,0	851,81	774,0	660,0	615,20	632,0
Кальций, г	165,0	190,90	162,7	129,0	156,08	109,5
Фосфор, г	120,0	148,90	91,60	93,0	100,58	66,8
Магний, г	36,3	65,11	84,00	30,0	49,80	50,7
Железо, мг	1938,8	7172,30	2002,1	1400,0	6133,2	2209,1
Каротин, мг	1212,5	901,90	428,5	825,0	781,80	685,0
Витамин, D ME	24250,0	3894,83	2800,0	18400,0	3681,60	3700,0

При анализе рациона для коров в период раздоя было выявлено, что рацион не в полном объеме удовлетворяет их потребности: обменная энергия (избыток 7,01 %), сырого протеина (дефицит 10,7 %), переваримый протеин (дефицит 4,94 %), сырая клетчатка (дефицит 15,7 %), сахара (дефицит 48,9 %), сырой жир (дефицит 17,2 %), кальций (дефицит 1,38 %), фосфор (дефицит 23,7 %), магний (избыток 131,7 %), витамин Д (дефицит 88,4 %).

После периода раздоя при среднесуточном удое 25 кг (5-7 мес. лактации) используется рацион №2 (таблица 2), в котором также имеется несбалансированность по следующим показателям: обменная энергия (избыток

11,8 %), сухое вещество (избыток 8,8 %), сырого протеина (дефицит 4,4 %), сахара (дефицит 45,9 %), сырой жир (дефицит 4,2 %), кальций (дефицит 15,1 %), фосфор (дефицит 28,2 %), магний (избыток 69,0 %), витамин Д (дефицит 79,9 %).

Недостаток макро- и микроэлементов и обогащение рациона витаминами восполнялся путем введения премикса компании «Русфид» (таблица 3) «Ровимикс Коровы» (Лактирующие) (с Румистаром, монензимом натрия и бета каротином, 2 %), в дозе 150 г на голову в сутки.

Введение премикса ликвидирует дефицит кальция, фосфора, частично нормализуя их соотношение. За счет наличия в премиксе бета каротина и витамина А в дозе 120000 МЕ полностью удовлетворяется потребность в каротине, что особенно важно для новотельных коров. Тем не менее, следует отметить, что только за счет добавки премикса «Ровимикс Коровы» (Лактирующие) не возможно полностью исправить нарушение баланса между ряда компонентов рациона, а это в свою очередь отражается не только на показателях минерального обмена у животных.

Концентрация кальция в сыворотке крови коров ниже нижней границы рефересных значений на протяжении всей лактации на 12,0-17,6 % (таблица 5). При этом снижение концентрации кальция с 1 месяца лактации к 7 месяцу составило 6,4 %. Низкая концентрация кальция являться результатом нарушения абсорбции кальция на уровне тонкого кишечника из-за имеющегося дефицита в рационе протеина и как следствие недостатка кальций-связывающих белков.

Таблица 5 - Содержание минеральных веществ в сыворотки крови лактирующих коров по периодам лактации.

Наименование исследований	Физиологические пределы	1 мес лактации	2-4 мес лактации	5-7 мес лактации
Кальций, ммоль/л	2,5-3,3	2,20±0,079	2,17±0,234	2,06±0,231
Фосфор, ммоль/л	1,40-1,90	1,98±0,178	1,69±0,169	1,34±0,082
Магний, мкмоль/л	0,70-1,10	0,66±0,052	0,69±0,034	0,60±0,022
Железо общее, мкмоль/л	17,0-40,0	24,40±2,616	20,05±1,712	13,18±3,204
Хлориды, мкмоль/л	95,7-108,6	113,48±2,522	121,65±3,992	116,95±5,439

Концентрация фосфора в 1 месяц лактации превышает верхнюю границу рефересных значений на 4,2 %, что в свою очередь приводит к нарушению кальций-фосфорного соотношения. В последующие периоды уровень фосфора снижается и становится ниже нижней границы рефересных значений (на 4,2 %). Соотношение Са:Р несмотря на дефицит обеих элементов в сыворотке крови в период 5-7 месяцев лактации соответствует норме (1,5), в остальные периоды наблюдается нарушение соотношения (1,1-1,3).

Уровень магния в течении всех периодов ниже рефересных значений на 1,5-14,3 %. Магний играет большую роль в работе нервной системы, формировании костной ткани, функционировании ферментных систем, в метаболизме углеводов и других процессах. Концентрация магния оказывает влияние на поглощение и резорбцию кальция.

В содержании железа в сыворотке крови коров отмечается тенденция к снижению к 5-7 месяцам лактации на 22,5 %.

Отклонения концентрации минеральных веществ в сыворотке крови является маркером развивающихся патологий – гипокальциемии, алиментарной дистрофии, кетоза, гепатита, жировой дистрофии печени, гемолитической анемии и др.

Таким образом, полноценное сбалансированное кормление, в том числе и минеральная обеспеченность рациона коров во все периоды лактации способствует нормализации обменных процессов, сохранению здоровья, воспроизводительной функции, увеличению сроков хозяйственного использования коров в условиях хозяйства.

### **Список литературы**

1. Бузина О. В. Влияние параметров микроклимата и типа подстилки на молочную продуктивность коров / О. В. Бузина, Е. Г. Черемуха // Роль аграрной науки в устойчивом развитии АПК: материалы II Международной научно-практической конференции, Курск, 26 мая 2022 года. Том Часть 2. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2022. – С. 138-142. – EDN OXUCXP.

2. Черемуха Е. Г. Взаимосвязь полноценности кормления и молочной продуктивности новотельных высокопродуктивных коров / Е. Г. Черемуха, О. В. Бузина, А. В. Блинова // Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 150-летию со дня рождения Алексея Григорьевича Дояренко : Материалы конференции, Калуга, 18 апреля 2024 года. – Калуга: ИП Якунина В.А., 2024. – С. 208-213. – EDN NZSPIQ.

3. Наумова А.А. Влияние минерального питания на обмен веществ дойных коров / А.А. Наумова, Т.А. Шеховцова, Е.П. Евглевская // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – №3 – С.70-72.

4. Черемуха Е. Г. Эффективность использования премикса в рационе сухостойных коров / Е. Г. Черемуха, О. В. Бузина, А. В. Блинова // Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева : Материалы конференции, Калуга, 20 апреля 2023 года. – Калуга: ИП Якунина В.А., 2023. – С. 241-246. – EDN VWEANA.

5. Оценка и оптимизация минерального обмена лактирующих коров / С. Н. Белова, О. В. Смоловская, В. А. Плешков, А. В. Семечкова // Пермский аграрный вестник. – 2022. – № 3(39). – С. 46-54. – DOI 10.47737/2307-2873\_2022\_39\_46. – EDN GHQOCK.

6. Бузина О. В. Минеральная обеспеченность рациона высокопродуктивных новотельных коров / О. В. Бузина, Е. Г. Черемуха, А. В. Блинова // Современные тенденции развития животноводства и зоотехнической науки : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.В. Орлова, Москва, 17–18 ноября 2022 года. – Москва: РГАУ, 2022. – С. 171-175.

7. Ларина О. В. Витаминно-минеральный обмен у коров в разные периоды стельности / О. В. Ларина, И. Т. Шапошников // Известия

Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 2(106). – С. 284-287. – DOI 10.37670/2073-0853-2024-106-2-284-287. – EDN AYGKAN.

8. Сафаров М. М. Ранняя диагностика патологии нарушений минерального обмена у высокопродуктивных коров в период лактации / М. М. Сафаров, А. Х. Абдурасулов // Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния. – 2025. – № 1(10). – С. 58-63. – DOI 10.52754/16948696\_2025\_1(10)\_9. – EDN ZPZXKN.

9. Динамика некоторых показателей крови дойных высокопродуктивных коров / А. В. Блинова, О. В. Бузина, Е. Г. Черемуха, И. Н. Сычева // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева : Сборник статей, Москва, 05–07 июня 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 218-222. – EDN ILWTPO.

10. Покровская М. В. Биохимические показатели минерального обмена у высокопродуктивных молочных коров / М. В. Покровская, И. В. Гусев, Р. А. Рыков // Молочное и мясное скотоводство. – 2014. – № 8. – С. 30-32. – EDN TECAVX.

## MINERAL COMPLETENESS OF THE DIET OF HIGH-PRODUCTIVE COWS

O.V. Buzina <sup>1</sup>, E.G.Cheremukha <sup>1</sup>, A.V.Blinova <sup>2</sup>, I.N.Sycheva <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
Kaluga branch, Kaluga, Russia

<sup>2</sup>Agri-Farm LLC

<sup>3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
Moscow, Russia  
a\_helga@mail.ru

**Abstract:** *The article analyzes the nutritional value of feeding rations and blood parameters of cows that characterize mineral metabolism during different*

*periods of lactation. To study mineral metabolism in dairy cows of the Ayrshire breed, blood serum was analyzed for the content of calcium, phosphorus, magnesium, iron, and chloride ions. Blood was collected in the morning (before feeding) from the tail vein. Mineral metabolism indicators in blood serum were determined by periods - fresh cow (first month after calving), 2-4 month of lactation, the second half of lactation (5-7 month). The average age of the animals selected for the study 2.7 lactations. Analysis of feeding rations revealed a deficiency in many components (crude protein, digestible protein, crude fiber, sugar, crude fat, calcium, phosphorus, vitamin D). The analysis of the blood serum samples from the selected animals revealed that the calcium concentration was below the lower limit of the physiological norm by 12.0-17.6%, depending on the stage of lactation. A decrease in the phosphorus level in the blood serum was observed at the end of lactation, and the calcium-phosphorus ratio was also impaired during the first periods of lactation. The magnesium level was below the reference values by 1.5-14.3% during all periods. The deficiency of minerals in the blood serum and the imbalance between them indicate feeding errors, which can lead to metabolic imbalances and the development of various pathologies.*

**Keywords:** *mineral metabolism, high-yielding cows, macro- and microelements, and complete feeding.*

УДК 636.033

## **ВЛИЯНИЕ ИСТОЧНИКА БЕЛКА НА РОСТ ТЕЛЯТ В ПЕРЕХОДНЫЙ ПЕРИОД**

Н.В.Василевский, Е.Л. Харитонов, А.С.Березин

ВНИИ физиологии, биохимии и питания животных - филиал ФИЦ животноводства - ВИЖ им. Л.К. Эрнста, Боровск, [Bifip@Kaluga.ru](mailto:Bifip@Kaluga.ru)

**Аннотация.** *Изучена динамика роста телят в молочный, переходный и послемолочный периоды при скармливании экспериментальных комбикормов с высокобелковыми добавками на основе различных кормовых культур: подсолнечный шрот, соевый жмых, люпин и горох в смеси с тритикале.*

*Антипитательные компоненты, содержащиеся в бобовых культурах, нейтрализовали экструзией и барогидротермической обработкой зерна. Исследования проводили методом групп-периодов (4 группы по 4 головы), на бычках черно-пестрой породы, возрастом 1 месяц. Начиная со второго месяца, после приучения животных к поеданию грубых (сено) и концентрированных кормов, прекращали выпойку заменителя молока. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии источника белка на конечную живую массу телят. При этом не обнаружено влияния экспериментальных комбикормов на скорость роста животных после стабильного приучения к поеданию грубых и концентрированных кормов. Снижение конечной живой массы происходило из-за задержки прироста в переходный период. Таким образом, влияние источника белка в комбикормах определяло скорость приучения телят к поеданию концентратов и грубых кормов. Минимальную задержку в развитии обеспечивал комбикорм на основе люпина. Исследования рубцовой жидкости, крови и баланса азота соответствовали полученной динамике роста и средним значениям для крупного рогатого скота.*

**Ключевые слова:** *выращивание телят, стартерные комбикорма, люпин, соевый жмых, горох, тритикале*

**Актуальность.** Известно, что смена рациона животных требует некоторый период адаптации пищеварительной системы к новым условиям. При выращивании телят смена молочного кормления на традиционные для крупного рогатого скота корма требует существенной перестройки органов пищеварения. В пищеварительный процесс включаются новые отделы сложного желудка, прежде всего рубец. При этом происходят существенные морфологические изменения в строении рубцовой стенки и особенно эпителиального слоя. В это же время происходит заселение микрофлоры и формирование специфической симбиотической популяции, приспособленной к сбраживанию клетчатки грубых кормов. Анаэробные условия в рубце обуславливают образование летучих жирных кислот, как конечных продуктов окисления сахаров. Летучие жирные кислоты всасываются через стенку рубца и



служат основным источником энергии для жвачных. Поскольку в молочный период кормления отсутствует потребность в активном обмене внутренней среды организма с содержимым рубца, отсутствует и соответствующая «инфраструктура». Формирование симбиотической микробиальной популяции происходит параллельного с развитием соответствующей «инфраструктуры» — сосочков на поверхности слизистой рубца, через которые идет всасывание конечных продуктов сбраживания, осуществляется водно-солевой баланс среды, происходит рециркуляция аммонийного азота и мочевины. Процесс формирования и развития сосочков в значительной степени зависит от наличия в рубцовой среде определенного количества бутирата. Сбраживание грубых кормов, обеспечивающих основной объем энергетического баланса жвачных сопровождается преимущественным образованием ацетата, а бутират образуется в следовых количествах, в отличие от сбраживания концентрированных кормов, у которых образующиеся продукты представлены главным образом бутиратом. Таким образом, чтобы обеспечить быстрое приучение телят к поеданию и перевариванию грубых кормов, приучение к поеданию концентратов является важным условием для скорого формирования типично рубцового пищеварения у молодняка жвачных.

При этом, процесс приучения молодняка к концентрированным кормам осложняется наличием вкусовых, текстурных и обонятельных характеристик, стимулирующих или, наоборот, осложняющих, привыкание животных к их потреблению. Немаловажным фактором формирования устойчивого рефлекса к поеданию концентратов молодняком является способность к легкому перевариванию и усваиванию в теле, без возникновения побочных расстройств, отягчающих пищеварение, а, следовательно, и приучение животных к этим кормам. С другой стороны, кроме обеспечения растущего организма энергией, для сохранения высоких темпов роста и развития необходимо наличие в рационе адекватного количества азотистых компонентов. Стоимость высокобелковых компонентов рациона жвачных традиционно выше, чем

энергетических, что стимулирует постоянный поиск новых, более рентабельных кормовых ресурсов.

Самым распространенным высокобелковым кормовым ресурсом являются бобовые растения, которые в качестве защитных свойств приспособились вырабатывать различные антипитательные вещества, существенно затрудняющие их переваривание в нативном виде. Снижение содержания антипитательных свойств этих растительных кормов требует существенных энергетических затрат, увеличивающих и без того их высокую рыночную стоимость [1-5].

Цель работы: оценка влияния различных источников белка на интенсивность роста телят в переходный период.

**Материал и методы исследования.** Исследования проводились на 16 бычках черно-пестрой породы, распределенных методом пар-аналогов на 4 группы. Начиная с молочного периода в рацион включали различные высокобелковые компоненты в виде комбикормов, приготовленных с использованием в качестве белковой добавки: контроль - подсолнечного шрота, 1 - подсолнечного шрота и соевого жмыха, 2 — смеси люпина с тритикале, 3 — смеси гороха и тритикале. Негативное влияние антипитательных веществ, содержащихся в бобовых культурах смеси 2 и 3 устраняли посредством экструзии, в контрольном и 1 опытном - барогидротермической обработкой. Опытные комбикорма 1 и 3, в сравнении с контролем, содержали на 20% меньше сырого протеина и были близки к нему по энергии. Опытный комбикорм 2 по всем основным параметрам был идентичен контролю.

Кормление телят сеном, водой и комбикорм осуществлялось вволю. В предварительный период (два месяца) выпаивали заменитель цельного молока из расчета 300г сухой смеси утром и вечером, с третьего месяца заменитель цельного молока исключали из рациона. Контроль роста телят осуществляли путем регулярного взвешивания.

**Результаты и их обсуждение.** Отсутствие принципиальных различий в питательных свойствах экспериментальных комбикормов для телят

подтверждает как анализ состояния ферментативно-микробиологической активности микрофлоры преджелудков, так и количественный состав микрофлоры рубцовой жидкости. К моменту окончания опыта у телят всех групп было в достаточной степени сформировано типичное рубцовое пищеварение. Исключение составляет несколько повышенный уровень бутирата, что нехарактерно для взрослых животных, но вполне допустимо для молодняка.

В результате проведенного балансового опыта было установлено, что по всем группам животных на фоне различной ретенции азота, наблюдалась высокая видимая переваримость протеина. Показатели ретенции азота в балансовом опыте хорошо согласуются с результатами анализа крови. В целом, гематологические и биохимические показатели крови находились в пределах нормы, достоверных различий между группами не установлено. Количество отложенного азота в теле достаточно тесно коррелируют с динамикой массы животных. Максимальные различия по средней живой массе между группами в конце опыта достигали 10%. Детальный анализ динамики живой массы показал, что скорость роста в первый период (молочный) различалась между группами менее 5%. Скорость роста в третьем периоде (после стабильного приучения телят к потреблению концентратов и сена) так же была практически одинаковой (различия составляли менее 1,5%). Таким образом, основные расхождения в динамике роста наблюдались в переходный период. Путем математических приемов снижения погрешности определения живой массы в этот период удалось установить, что в переходный период приучения телят к потреблению сена и комбикорма на фоне прекращения выпойки заменителя молока, наблюдается некоторая пауза в наборе живой массы. После привыкания к новым кормам рост возобновляется и его интенсивность практически не зависела от вида экспериментального комбикорма. Фактически, различные источники белка определяли продолжительность переходного периода, когда привесы были минимальными. После привыкания телят к новому типу рациона, рост возобновлялся, и конечная живая масса животных к

концу опыта определялась исключительно продолжительностью задержки в переходный период.

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлено, что источник белка в составе стартерного комбикорма телят может влиять на скорость их роста. Влияние проявляется главным образом в процессе приучения телят к поеданию сена и комбикорма. Состав экспериментальных комбикормов не оказывал влияние на скорость роста телят после переходного периода. Конечная живая масса телят определяется продолжительностью переходного периода: чем он короче, тем больший прирост. Затягивание переходного периода снижает привесы. Фактически, использованные в исследовании комбикорма, на основе различных источников азота, различались продолжительностью периода формирования типичного пищеварения и процессов метаболизма, свойственных жвачным животным. Наиболее высокие показатели наблюдались во второй группе с включением в состав комбикорма смеси люпина и тритикале. Контрольный комбикорм приготовленный с использованием в качестве белковой добавки подсолнечного шрота формировал устойчивое рубцовое пищеварение чуть менее эффективно. Наиболее низкая скорость адаптации к традиционным кормам наблюдалась при скармливании комбикорма на основе смеси гороха и тритикале.

### **Список литературы**

1. Petterson D.S. The Use of Lupins in Feeding Systems - Review -Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 2000;13(6): 861-882. <https://doi.org/10.5713/ajas.2000.861>
2. Ткаченко Ю. Г., Зарудный В. А., Блиадзе В. Г., Бардаш В. В. Экструдированные семена люпина в составе комбикормов для крупного рогатого скота // Ветеринария и кормление. – 2024. – № 4. – С. 105-107. – DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-4-22. – EDN DQRMZE.
3. Радчиков В. Ф., Бесараб Г. В., Антонович А. М. [и др.] Повышение продуктивного действия кормов при скармливании молодняку крупного рогатого скота экструдированного люпина // Сельское хозяйство и экосистемы

в современном мире: региональные и межстрановые исследования. – 2023. – Т. 2, № 4. – С. 35-42. – DOI 10.53315/2949-1231-2023-2-4-35-42. – EDN CNALVL.

4. Радчиков В. Ф. Влияние скармливания гранулированного люпина в составе комбикорма на физиологическое состояние и продуктивность бычков / В. Ф. Радчиков, А. М. Антонович // Зоотехническая наука Беларуси. – 2020. – Т. 55, № 2. – С. 61-68. – EDN YVZQGW.

5. Кот А. Н., Мосолова Н. И., Бесараб Г. В. [и др.] Показатели рубцового пищеварения у молодняка крупного рогатого скота в возрасте 6-9 месяцев от скармливания экструдированных высокобелковых концентрированных кормов // Зоотехническая наука Беларуси. – 2020. – Т. 55, № 2. – С. 3-13. – EDN CHNZBN.

## **THE INFLUENCE OF PROTEIN SOURCE ON CALF GROWTH DURING THE TRANSITION PERIOD**

N.V. Vasilevskiy, E.L. Kharitonov, A.S. Berezin

All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Animals - a branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry - VIZH them. OK. Ernst, Borovsk, Bifip@Kaluga.ru

**Summary:** *The growth dynamics of calves during the lactation, transition, and post-lactation periods were studied while feeding experimental compound feeds with high-protein additives based on various forage crops: sunflower meal, soybean cake, lupine, and peas mixed with triticale. Antinutritional components contained in the legumes were neutralized by extrusion and barohydrothermal treatment of the grain. The study was conducted using the group-period method (4 groups of 4 animals) on one-month-old Black-and-White bulls. Beginning in the second month, after acclimating the animals to roughage (hay) and concentrated feed, milk replacer feeding was discontinued. The results indicate a significant impact of the protein source on the final live weight of the calves. However, no effect of the experimental compound feeds on the growth rate of the animals after stable acclimation to roughage and concentrated feed was detected. The decline in final live weight was*

*due to delayed growth during the transition period. Thus, the protein source in the compound feed determined the rate at which calves acclimated to concentrates and roughage. Lupine-based compound feed resulted in minimal developmental delay. Rumen fluid, blood, and nitrogen balance analyses were consistent with the observed growth dynamics and average values for cattle.*

**Key words:** *calf rearing, starter feeds, lupine, soybean meal, peas, triticale.*

УДК 636.5.034: 612.342.4

## **ОЦЕНКА ВКУСОВЫХ И ПИТАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЯРОВОГО РАПСА ГИБРИДА «F1 АЙРОС» В РАЦИОНЕ КУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИСТУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

А. М. Григорьев

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет– МСХА имени  
К. А. Тимирязева, Москва, grigoriev.alekseym@gmail.com

**Аннотация.** *Нами был проведён опыт на курах породы «Хайсекс Уайт» с использованием в качестве белковой добавки ярового рапса гибрида «F1 Айрос» для определения его вкусовых и питательных качеств. Показатели активности трипсина в опытной группе были выше, чем в контрольной на 21,50% в сложнорефлекторную фазу пищеварения и на 2,42% в нейрогуморальную. Мы пришли к выводу, что вкусовые качества рапса выше, чем у основного рациона, но питательные свойства рациона при введении данной добавки не повышаются.*

**Ключевые слова:** *куры, белковые добавки, рапс, дуоденальный химус, трипсин.*

**Актуальность.** Одним из наиболее важных питательных веществ для повышения количества и качества яиц у кур-несушек является сырой протеин – его количество и состав может значительно влиять на яйценоскость птиц. В связи с этим исследователями изучаются возможности использования в кормлении несушек разных белковых добавок.

Одной из перспективных белковых добавок является рапс (*Brassica napus*) – масличная культура, которая может служить добавкой в кормах при балансировании по протеину и энергии. За счёт низкой требовательности к климатическим условиям эту культуру можно возделывать почти во всех регионах России. Семена рапса содержат до 50% жира и до 23% сырого протеина. Главными недостатками использования рапса в кормлении являются наличие в нём антипитательных веществ, которые приводят к задержке роста, а также низкая перевариваемость оболочек семян [1].

В данном исследовании мы использовали яровой рапс гибрида «F1 Айрос». Данный гибрид был выведен в 2025 году в РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. Он устойчив к заболеваниям сельскохозяйственных культур, таких как кила и мучнистая роса, отличается высокой семенной продуктивностью и масличностью [2]. Исследований гибрида «F1 Айрос» в качестве белковой добавки для птиц ранее не проводилось.

**Материал и методы исследования.** В опыте были задействованы две группы кур-несушек породы "Хайсекс Уайт" 5-месячного возраста, содержащихся в виварии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Для сбора и анализа химуса курам были установлены хронические фистулы на двенадцатиперстную кишку напротив протоков печени и поджелудочной железы. Использование фистульной технологии позволяет оценить семена рапса в рационе птиц в динамике во время сложнорефлекторной и нейрогуморальной фаз регуляции пищеварения по изменению активности ферментов и содержания минеральных элементов, что даёт нам более полное представление о вкусовых и питательных качествах добавки.

Для опыта были сформированы две группы кур. Контрольная группа получала основной рацион – комбикорм ПК-1; опытная группа получала комбикорм ПК-1 с добавлением 10% семян рапса по протеину. Физиологические опыты на курах-несушках проводились в течение 5 дней.

Семена рапса размалывались для более простого поедания птицей и удаления оболочки, что в свою очередь приводит к снижению содержания в них антипитательных веществ и клетчатки и позволяет повысить перевариваемость рапса.

Несушкам давали комбикорм с утра натощак, перед этим их не кормили как минимум 12 часов. Дуоденальный химус объёмом не более 2 мл собирали дважды – через 60 и 120 минут после кормления, что соответствует сложнорефлекторной и нейрогуморальной фазам регуляции [3]. Химус центрифугировали для отделения твёрдой фазы, надосадочную жидкость разводили физиологическим раствором в 10 раз для получения более точных результатов.

Кроме того, для исследования влияния добавки на продуктивные качества кур учитывался вес их яиц.

Определение активности ферментов и концентрации элементов в дуоденальном химусе проводилось на полуавтоматическом биохимическом анализаторе BS 3000M (Sinnova, КНР) спектрофотометрическим методом. С помощью биохимического анализатора нами исследовалась концентрация в химусе трипсина, щелочной фосфатазы, кальция и фосфора. Активность трипсина в химусе определялась по методу Вертипрахова и Грозиной [4] с использованием нитроанилид бензоил DL-аргинина (BAPNA), активность щелочной фосфатазы, концентрация кальция и фосфора – с использованием реактивов компании "ДИАВЕТ".

Для статистической обработки результатов использовалась программа Microsoft Excel 2016, с помощью которой выполняли расчёт среднего значения показателей и стандартной ошибки среднего. Достоверность различий устанавливалась с помощью t-критерия Стьюдента, различия считаются статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Обсуждение результатов.** Результаты биохимического анализа дуоденального химуса кур приведены в таблице 1:



Таблица 1 – Биохимические показатели дуоденального химуса кур-несушек при кормлении контрольным и опытным кормами ( $M \pm m$ )

Группа	Контроль		Опыт	
Время измерения	1 час	2 часа	1 час	2 часа
Трипсин, ед/л	1753,57 $\pm$ 102,45 <sup>a,b</sup>	2099,45 $\pm$ 99,78	2130,57 $\pm$ 139	2150,24 $\pm$ 83,74
Щелочная фосфатаза, ед/л	7070,80 $\pm$ 516,03 <sup>b</sup>	11036,65 $\pm$ 468,62	7827,28 $\pm$ 363,11 <sup>b</sup>	13172,28 $\pm$ 1085,66
Са, ммоль/л	58,02 $\pm$ 4,06	54,15 $\pm$ 4,25	59,64 $\pm$ 4,05 <sup>b</sup>	48,55 $\pm$ 3,44
Р, ммоль/л	9,16 $\pm$ 0,43	8,70 $\pm$ 0,33	8,95 $\pm$ 0,29	8,38 $\pm$ 0,38

Примечание: а – различия достоверны при  $p < 0,05$  для одной группы в разное время; b – различия достоверны при  $p < 0,05$  между разными группами

Согласно полученным данным, показатель активности трипсина при скормливания рапса достоверно выше, чем в контрольной группе на 21,50% в первые 60 минут и на 2,42% через 120 минут. Это указывает на то, что рапс обладает более высокими вкусовыми качествами по сравнению с контрольным кормом, но при этом питательные качества – содержание и состав протеина – у исследуемых кормов почти одинаковые. Связано это может быть с более привлекательным для кур вкусом и запахом корма. Незначительное повышение активности трипсина в дуоденальном химусе кур-несушек в нейрогуморальную фазу может объясняться наличием значительного количества в рапсе антипитательных веществ, лимитирующих использование белка, таких как полифеноловые вещества, глюкозинолаты, эруковая кислота [1]. При этом, при скормливания курам контрольного корма, разница в активности трипсина между разными стадиями пищеварения достоверно повышается на 19,72%.

При добавлении в рацион рапса также повышается активность щелочной фосфатазы: на 10,70% в первый час и на 19,32% во второй. Щелочная фосфатаза – фермент, осуществляющий дефосфорилирование различных веществ, включая белки и, таким образом, участвующий в белковом и фосфорно-кальциевом обменах. Тенденция к повышению её содержания в

дуоденальном химусе может указывать на более активный кальциево-фосфорный обмен у кур при скормливания корма с рапсом.

Концентрация кальция в дуоденальном химусе в опытной группе по сравнению с контрольной выше в сложнорефлекторный период на 2,79%, но ниже в нейрогуморальный на 11,53%. Концентрация фосфора также ниже в опытной группе на 2,35% и на 3,82% в первый и второй час соответственно. Более низкое содержание данных минеральных элементов в химусе связано с более низким их содержанием в рапсе, так как при низкой концентрации данных веществ в корме, большая их доля будет абсорбироваться и меньшая – выделяться [5].

В таблице 2 приведена масса яиц, откладываемых несушками в зависимости от рациона.

Таблица 2 – Масса яйца кур-несушек при кормлении контрольным и опытным кормами ( $M \pm m$ )

Группа	Контроль	Опыт
Масса яйца, г	$61,85 \pm 1,21$	$60,89 \pm 0,75$

Согласно полученным данным, масса яиц между двумя группами кур достоверно не отличается. На основании этого можно сделать вывод, что состав и содержание протеина в рационе с добавлением рапса примерно совпадает с этими показателями у контрольного корма, а более низкое в нём содержание кальция, необходимого для формирования яйца не влияет отрицательно на массу яиц.

**Заключение.** По итогам проведённых исследований нами было определено, что добавление в рацион кур-несушек 10% ярового рапса гибрида «F1 Айрос» вызывает более высокую, по сравнению с контрольным кормом, активность трипсина в сложнорефлекторную фазу регуляции пищеварения за счёт более привлекательных вкусовых качеств. Тем не менее, за счёт большой концентрации антипитательных веществ, питательные свойства опытного

корма ненамного выше комбикорма. Кроме того, содержание минеральных веществ в корме с рапсом ниже, чем в основном рационе, что видно при биохимическом анализе дуоденального химуса, но не оказывает влияния на массу яиц у кур опытной группы.

### **Список литературы**

1. Егорова Т.А. Рапс (*Brassica napus* L.) и перспективы его использования в кормлении птицы / Т.А. Егорова, Т.Н. Ленкова //Сельскохозяйственная биология. – 2015. – №. 2. – С. 172-182.
2. Аграрный журнал Нива Плюс: [Электронный ресурс]. URL: <https://niva-media.ru>. (Дата обращения: 19.10.2025).
3. Патент № 2821592 С1 Российская Федерация, МПК A23K 10/00, G01N 33/50. Способ оценки вкусовых и питательных свойств корма у птицы: № 2023131963: заявл. 05.12.2023: опубл. 25.06.2024 / В. Г. Вертипрахов, С. И. Полина, Н. А. Сергеевкова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева".
4. Вертипрахов В. Г., Грозина А. А. Оценка состояния поджелудочной железы методом определения активности трипсина в крови птицы // Ветеринария. 2018. № 12. С. 51-54.
5. Вертипрахов В.Г. Использование илеального метода в оценке баланса кальция в организме кур-несушек / В.Г. Вертипрахов, А.А. Грозина, И.В. Кислова, Т.М. Ребракова //Международный вестник ветеринарии. – 2019. - №4. – С. 125-131.

## **EVALUATION OF TASTE AND NUTRITIONAL PROPERTIES OF SPRING RAPESEED OF THE F1 AIROS HYBRID IN THE DIET OF LAYING HENS USING FISTULA TECHNOLOGY**

A.M. Grigoriev

Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow,

[grigoriev.alekseym@gmail.com](mailto:grigoriev.alekseym@gmail.com)

**Summary:** We conducted an experiment on Hisex White chickens using the F1 Airos hybrid spring rapeseed as a protein supplement to determine its taste and nutritional qualities. Trypsin activity levels in the experimental group were 21.50% higher than in the control group during the reflex phase of digestion and 2.42% higher during the neurohumoral phase. We concluded that the rapeseed had a higher palatability than the control feed, but the nutritional value of the diet was not enhanced by the addition of this supplement.

**Keywords:** chicken, rapeseed, duodenal chyme, trypsin.

УДК 636.52/. 58: 612.33: 636.084.1

## **ЗДОРОВЬЕ КИШЕЧНИКА ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ПИТАНИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ**

А.Ю. Загарин<sup>1</sup>, Л.А. Ильина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет-МСХА имени

К.А. Тимирязева

<sup>2</sup>ООО «БИОТРОФ+»

**Аннотация.** Здоровье кишечника – важный комплекс физиологических механизмов, определяющий уровень продуктивности птицы и состояние ее здоровья. Было изучено влияние растительных экстрактов цикория, зверобоя, левзеи сафлоровидной и тимьяна ползучего на микробиологические, иммунологические и гистологические аспекты здоровья кишечника (слепых отростков) цыплят-бройлеров. Использование в их питании перечисленных экстрактов повышает экспрессию IL8 и AvBD9, способствует росту *Streptococcus alactolyticus* и существенному сокращению глубины крипт.

**Ключевые слова:** здоровье кишечника, цыплята-бройлеры, экспрессия генов, микробиом кишечника, гистоструктура кишечника, фитобиотики, фитогеники.

**Актуальность.** В настоящее время одним из ключевых направлений повышения продуктивности моногастричных сельскохозяйственных животных, в частности – птицы, является контроль за здоровьем их кишечника и изучение

возможностей его улучшения [1]. Здоровье кишечника – это комплексное понятие, включающее физиологические, микробиологические и нутрициологические [2], а также молекулярно-биологические положения [3].

Комплексная оценка здоровья кишечника включает анализ микробного сообщества, выполняющей ряд биологически важных для организма птицы функций, таких как защита от патогенных микроорганизмов, синтез и метаболизм нутриентов и биологически активных веществ, формирование общего иммунитета организма [4-6], морфогистологические исследования структуры органа, определяющей эффективность усвоения нутриентов корма птицей [7], а также изучение механизмов иммунной защиты, к числу которых относят М-клетки, НК-клетки, В-клетки, Т-клетки, лизоцим, фагоциты и антимикробные пептиды – дефензины и кателицидины [8]. Информативным маркером защитной функции кишечника является экспрессия генов, связанных с иммунитетом, –  $\beta$ -дефензины и кателицидины [9], интерлейкины [10], интерфероны I типа [11].

Перспективным модулятором здоровья кишечника являются фитобиотики – биологически активные препараты на основе растительного сырья (травы, специи, экстракты и эфирные масла), содержащего широкий спектр действующих биологически активных соединений [12]. Фитобиотики обладают такими полезными свойствами как увеличение продуктивности, потребления корма, уровня экспрессии генов, интенсификация метаболизма и повышение эффективности использования корма, улучшение морфофункциональных свойств кишечника, стимулирование секреции пищеварительных ферментов, модуляция иммунитета [13].

Исходя из вышесказанного **цель** настоящего исследования заключалась в комплексном анализе влияния растительных экстрактов на здоровье кишечника цыплят-бройлеров, включая анализ микробного сообщества, гистоструктуры и экспрессии генов иммунитета в наиболее чувствительном к факторам питания отделе кишечника у птицы – слепых отростках.

**Материал и методы исследования.** Исследование было рассмотрено и одобрено Комиссией по биоэтике ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (протокол № 16 от 30 января 2024 г.).

На базе учебно-производственного птичника РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева был проведен зоотехнический эксперимент на цыплятах-бройлерах кросса Смена 9 продолжительностью 35 суток. Полученные из селекционно-генетического центра «Загорское ЭПХ» 180 цыплят были случайным образом распределены на 5 групп по 36 голов в каждой, соотношение петушков и курочек рандомизировано. Цыплят содержали в клетках, для кормления и поения птицы использовали бункерные/желобковые кормушки и вакуумные/ниппельные поилки. Технологические параметры, включая плотность посадки, температурно-влажностный режим, освещенность, а также химический состав и питательность комбикормов соответствовали руководству по работе с птицей данного кросса. Использовали полнорационные фазовые комбикорма: «Старт» – 0-10 суток, «Рост» – 11-22 суток, «Финиш» – 23-35 суток. В опытных группах в рационы вводили сухие растительные экстракты методом ступенчатого смешивания в следующем количестве: 2 опытная группа – экстракт цикория обыкновенного (*Cichorium intubus* L.) в количестве 450,0 г/т в кормах «Старт» и «Рост» и 560,0 г/т в комбикорме «Финиш»; 3 опытная группа – экстракт зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.) в количестве 350,0 и 430,0 г/т; 4 опытная группа – экстракт левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides* Willd.) в количестве 170,0 и 210,0 г/т; 5 опытная группа – экстракт тимьяна ползучего (*Thymus serpyllum* L.) в количестве 200,0 и 250,0 г/т соответственно в кормах «Старт»/«Рост», «Финиш».

В возрасте 22 суток было отобрано по три петушка со средней живой массой из каждой группы для отбора образцов ткани слепых отростков кишечника для анализа экспрессии генов и содержимого слепых отростков для анализа микробиома, образцы помещали в стерильные пластиковые пробирки

типа Эппендорф, образцы ткани дополнительно фиксировали с помощью реактива IntactRNA. Все образцы замораживали и хранили при  $-20^{\circ}\text{C}$  до последующего выделения РНК и ДНК. В возрасте 32 суток у трех петушков из каждой группы отбирали в течение 15 минут после убоя образцы слепых отростков кишечника размером  $1\text{ см}^3$  для проведения гистологических исследований, фиксацию образцов производили не позже 2 минут после их отбора с использованием 10%-ного раствора формальдегида.

Молекулярно-генетические исследования проводили в лаборатории прикладной генетики ФГБНУ ФНЦ «ВНИТИП». Общую РНК выделяли с применением набора RNA Solo. Реакцию обратной транскрипции для получения кДНК на матрице РНК проводили с помощью набора с обратной транскриптазой Magnus и амплификатора GeneExplorer GE-96G. Для амплификации выбранных генов использовали геноспецифические последовательности праймеров: *ACTB* ( $\beta$ -актин) – F: CTGTGCCCATCTATGAAGGCTA, R: ATTTCTCTCTCGGCTGTGGTG; *IL8L2* (8-подобный 2 интерлейкин) – F: GGAAGAGAGGTGTGCTTGGA, R: TAACATGAGGCACCGATGTG; *AvBD9* ( $\beta$ -дефензин 9) – F: AACACCGTCAGGCATCTTCACA, R: CGTCTTCTTGGCTGTAAGCTGGA; *AvBD10* ( $\beta$ -дефензин 10) – F: GCTCTTCGCTGTTCTCCTCT, R: CCAGAGATGGTGAAGGTG; *IRF7* (регуляторный фактор интерферона 7) – F: ATCCCTTGGAAGCACAACGCC, R: CTGAGGCAACCGCGTAGACCTT [15]. Реакцию амплификации проводили на приборе QuantStudio 5, в качестве референсного гена использовали ген «домашнего хозяйства», кодирующий белок  $\beta$ -актин *ACTB*. Амплификацию проводили с использованием набора 5X qPCRmix-HS SYBR в следующем режиме: 3 минуты при  $95^{\circ}\text{C}$  (предварительный денатурация); 30 секунд при  $95^{\circ}\text{C}$ , 30 секунд при  $60^{\circ}\text{C}$ , 30 секунд при  $72^{\circ}\text{C}$  (40 циклов). Оценка относительного уровня экспрессии проводилась с использованием метода  $2^{-\Delta\Delta\text{CT}}$  [14].

Тотальную ДНК из образцов содержимого слепых отростков кишечника выделяли с помощью набора HiPure Microbiome DNA Kit согласно прилагаемой

инструкции. Бактериальное сообщество оценивали методом дробовика (Shotgun sequencing) при NGS-секвенировании на автоматическом секвенаторе DNBSEQ-G400 с применением набора для подготовки библиотек с Taq-FS ДНК-полимеразой MGIEasy FS DNA Library Prep Set и набора реагентов и проточной ячейкой FCS для запуска секвенатора High-throughput Sequencing Set (PE150, 165 Гб).

На базе учебно-научной лаборатории кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева проводили изготовление гистологических препаратов стандартными методами путем обезвоживания и замещения формальдегида на парафин и проводки через этиловый спирт, с последующим окрашиванием гематоксилин-эозином. Анализ осуществлялся на микроскопе Микмед-5 под увеличением от 600х до 1500х. Окулярной линейкой, предварительно откалиброванной с помощью окулярмикрометра, были произведены по 31 измерению каждого образца.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного комплекса IBM SPSS Statistics 23 (2023, США) с применением однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), теста Тьюки для множественных сравнений и критерия Стьюдента в отношении экспрессии генов при сравнении с контролем. Разность считали достоверной при  $p \leq 0,05$ .

**Результаты исследований и их обсуждение.** Результаты анализа относительной экспрессии генов иммунитета в тканях слепых отростках кишечника представлены на рисунке 1.

По результатам анализа экспрессии генов было выявлено статистически значимое повышение экспрессии интерлейкина-8 при использовании в питании цыплят-бройлеров экстракта цикория в 2,66 раз ( $p \leq 0,05$ ), экстракта левзеи – в 4,63 раза ( $p \leq 0,01$ ) и экстракта тимьяна – в 3,38 раз ( $p \leq 0,05$ ). Экспрессия *AvBD9* повышалась при использовании в питании цыплят-бройлеров экстракта цикория в 8,16 раз ( $p \leq 0,01$ ), экстракта левзеи – в 4,67 раз ( $p \leq 0,05$ ), экстракта тимьяна – в 1,66 раз ( $p \leq 0,05$ ). Транскрипционная активность гена *AvBD10* относительно контроля либо повышалась менее существенно – в группе с



экстрактом цикория в 2,19 раза ( $p \leq 0,01$ ), либо снижалась – в группе с экстрактом тимьяна в 3 раза ( $p \leq 0,001$ ). Таким образом, экстракты цикория обыкновенного, левзеи сафлоровидной и тимьяна ползучего обладают иммуномодулирующими свойствами, что выражается в активации синтеза интерлейкина-8 и  $\beta$ -дефензина 9.

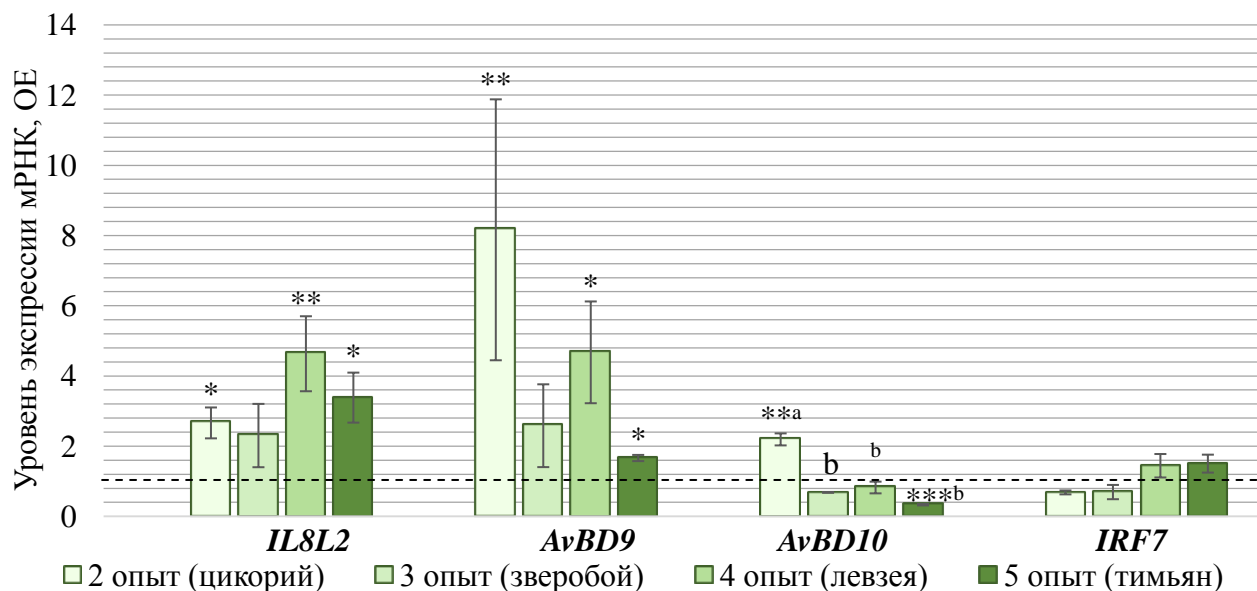


Рисунок 1 – Уровень экспрессии генов, связанных с резистентностью, в тканях слепых отростков кишечника цыплят-бройлеров (*Gallus gallus* L.) кросса «Смена 9» при использовании в питании растительных экстрактов:

ОЕ – кратность изменений уровня экспрессии по сравнению с 1-й группой, где показатель принимали за 1; \*, \*\*, \*\*\* – разность в значениях  $\Delta C_t$  статистически достоверна по отношению к контрольной группе при  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$ ,  $p \leq 0,001$  согласно t-критерию; горизонтальная прерывистая линия обозначает уровень экспрессии генов в контрольной группе; результаты представлены как среднее со стандартной ошибкой среднего ( $M \pm SEM$ ) для экспрессии мРНК

Результаты метагеномного анализа (табл. 1) свидетельствовали о некотором изменении структуры микробиома слепых отростков кишечника цыплят-бройлеров. В частности, при использовании в их питании экстракта зверобоя доля микроорганизмов, связанных с липидным обменом, – *Massilistercora timonensis* увеличилась в 3 раза по сравнению с контролем ( $p \leq 0,05$ ), *Intestinimonas butyriciproducens* – в 7,7 раз ( $p \leq 0,01$ ), доля полезной *Faecalitalea cylindroides* – в 2,7 раза ( $p \leq 0,01$ ); использование в кормлении цыплят экстракта цикория обыкновенного, инулин которого является природным пребиотиком, увеличило долю представителя полезной микробиоты – *Faecalitalea cylindroides* в 3,3 раза ( $p \leq 0,01$ ), а также

способствовало развитию представителей полезной микробиоты – *Streptococcus alactolyticus*, используемого в биотехнологии для создания пробиотиков [16], до 3,7%, в то время, как в кишечнике цыплят контроля этот вид не был идентифицирован.

По результатам морфогистологических исследований было установлено, что диффузно расположенные лимфоциты встречались в стенке слепых отростков кишечника у всех особей, но скопление по типу Пейеровых бляшек образовались только у цыплят, получавших экстракт тимьяна ползучего (рис. 2), что указывает на положительное влияние этого фитогеника на иммунную функцию кишечника. Использование в питании цыплят всех экстрактов сопровождалось значительным сокращением глубины крипт – на 32,3-53,4% ( $p \leq 0,001$ ), что указывает на благоприятное влияние изучаемых экстрактов на благополучие кишечника.

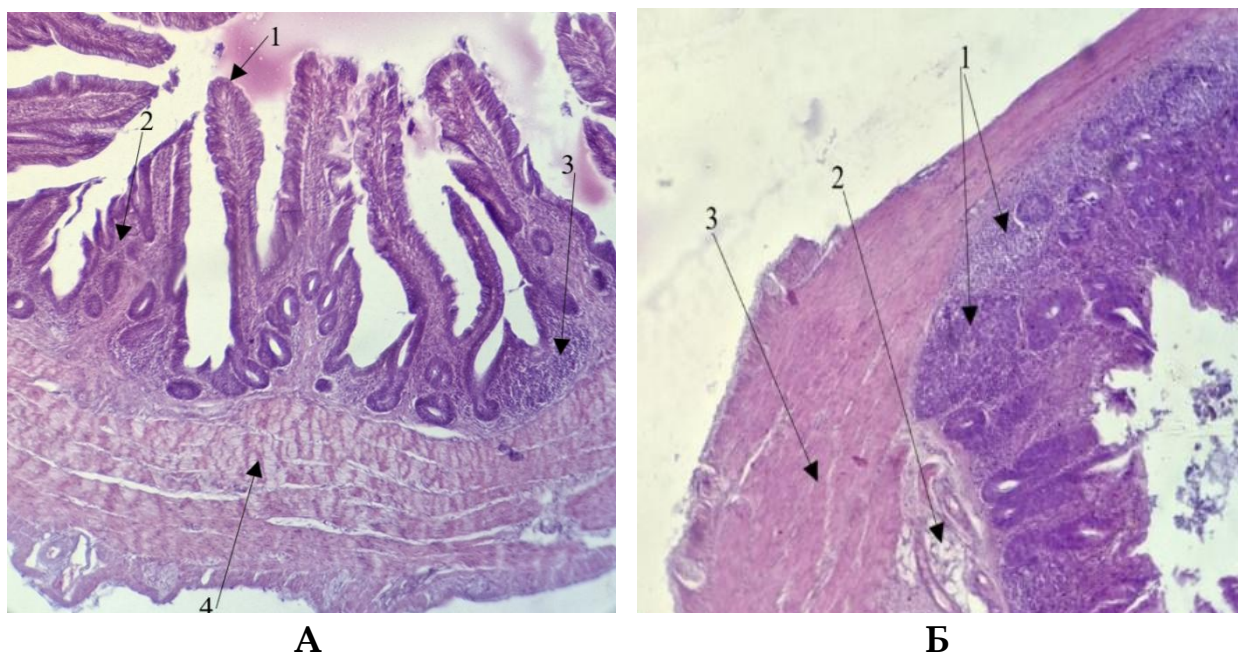


Рисунок 2 – Гистологическая структура слепых отростков кишечника цыплят-бройлеров: (А) Гистологическая структура стенки слепого отростка кишечника цыпленка контрольной группы (Увеличение  $\times 40$ ): 1 – эпителий слизистой оболочки, 2 – подслизистая основа, 3 – лимфатические скопления в подслизистой основе; 4 – мышечная оболочка; (Б) Гистологическая структура стенки слепого отростка кишечника цыпленка из 5-й опытной группы (экстракт тимьяна ползучего) (Увеличение 40х): 1 – скопление лимфоидной ткани, 2 – подслизистая основа, 3 – мышечная оболочка

Таким образом выявлено положительное влияние рассматриваемых растительных экстрактов на здоровье кишечника цыплят-бройлеров,

проявляемое в улучшении морфогистологических особенностей, развитии полезной микробиоты и активации экспрессии генов, связанных с иммунитетом. Полученные результаты служат обоснованием при разработке фитогенного биопрепарата для сельскохозяйственной птицы, направленного на повышение продуктивности при сохранении здоровья.

Таблица 1 – Структура микробиома слепых отростков кишечника цыплят-бройлеров, %

Показатель	Группа					p-Value
	1 контроль	2 опыт (цикорий)	3 опыт (зверобой)	4 опыт (левзея)	5 опыт (тимьян)	
<i>Bifidobacterium pullorum</i>	44,8±18,13	9,4±9,10	2,0±1,36	13,7±12,24	26,9±25,54	0,241
<i>Bacteroides fragilis</i>	11,7±10,86	0,3±0,09	0,5±0,23	0,5±0,29	0,5±0,23	0,534
<i>Enterocloster bolteae</i>	11,5±4,45	20,8±7,58	28,0±4,54	26,6±6,98	12,2±3,62	0,149
<i>Lachnoclostridium phocaeense</i>	6,7±4,50	9,1±1,36	6,8±1,63	11,6±2,44	2,6±0,18	0,372
<i>Clostridioides difficile</i>	2,7±1,16	7,1±0,79	4,9±1,22	5,7±2,26	5,1±2,10	0,478
<i>Flavonifractor plautii</i>	2,4±1,01	2,3±0,51	5,1±1,10	2,9±0,54	3,9±1,28	0,226
<i>Ligilactobacillus agilis</i>	2,3±1,76	2,8±2,11	1,3±0,73	0,8±0,47	0,1±0,04	0,654
<i>Massilistercora timonensis</i>	2,2±0,73 <sup>a</sup>	6,3±0,16 <sup>ab</sup>	6,6±1,04 <sup>b</sup>	4,7±1,18 <sup>ab</sup>	2,6±0,89 <sup>ab</sup>	0,016
<i>Faecalibacterium prausnitzii</i>	2,1±0,83	2,2±0,69	2,5±0,57	2,9±0,63	2,2±0,67	0,913
<i>Ruthenibacterium lactatiformans</i>	1,4±0,53	3,8±2,26	2,5±0,51	2,5±0,77	2,8±0,62	0,554
<i>Roseburia hominis</i>	1,2±0,70	0,5±0,04	1,1±0,25	1,3±0,41	0,4±0,07	0,677
<i>Escherichia coli</i>	1,0±0,90	7,7±3,20	8,3±4,79	7,9±6,60	26,7±13,27	0,134
<i>Enterococcus faecium</i>	1,0±0,53	1,7±0,20	1,9±0,53	2,3±0,47	1,8±0,73	0,465
<i>Streptococcus suis</i>	0,9±0,46	0,8±0,11	2,1±0,46	1,9±0,90	1,3±0,35	0,470
<i>Dysosmobacter welbionis</i>	0,8±0,71	0,3±0,11	0,7±0,6	0,5±0,24	0,1±0,01	0,902
<i>Streptococcus alactolyticus</i>	н.о. <sup>a</sup>	3,7±2,46 <sup>b</sup>	0,0±0,00 <sup>a</sup>	0,1±0,07 <sup>a</sup>	0,1±0,03 <sup>ab</sup>	0,025
<i>Intestinimonas butyriciproducens</i>	0,7±0,39 <sup>a</sup>	0,3±0,15 <sup>a</sup>	5,4±1,64 <sup>b</sup>	0,6±0,19 <sup>a</sup>	0,7±0,22 <sup>a</sup>	0,004
<i>Thomasclavelia spiroformis</i>	0,4±0,18	9,1±4,85	6,4±3,94	0,2±0,23	1,7±1,02	0,126
<i>Cutibacterium acnes</i>	0,4±0,17	0,1±0,01	1,3±0,44	1,2±0,52	0,3±0,12	0,153
<i>Ruminococcus gnavus</i>	0,2±0,12	0,3±0,05	0,5±0,17	0,4±0,14	0,2±0,08	0,502
<i>Maliibacterium massiliense</i>	0,5±0,13	1,4±0,77	0,7±0,13	0,6±0,08	0,5±0,21	0,258
<i>Coprococcus catus</i>	0,8±0,60	0,9±0,21	0,8±0,27	0,3±0,05	0,9±0,19	0,801
<i>Faecalitalea cylindroides</i>	0,3±0,14 <sup>a</sup>	1,0±0,12 <sup>b</sup>	0,8±0,14 <sup>bc</sup>	0,4±0,08 <sup>ab</sup>	0,3±0,06 <sup>ac</sup>	0,006
<i>Limosilactobacillus reuteri</i>	0,1±0,06	0,9±0,71	0,2±0,21	1,5±0,96	0,0±0,02	0,279
<i>Lactobacillus crispatus</i>	0,0±0,02	0,2±0,10	0,6±0,62	1,0±0,75	0,0±0,01	0,569
<i>Clostridium innocuum</i>	0,6±0,22	0,7±0,22	0,4±0,14	1,9±0,58	0,5±0,19	0,048
Прочие микроорганизмы	3,3±0,52	6,4±0,49	6,1±0,68	5,3±0,58	5,8±1,73	0,064

Значения, обозначенные в одном ряду разными надстрочными буквами, статистически значимы при  $p \leq 0,05$

## Список литературы

1. Пилюгин Д.Н. Здоровье кишечника – важный показатель состояния здоровья бройлеров // Птицеводство. 2019. № 5. С. 51-54.
2. Вертипрахов В.Г., Гогина Н.Н., Овчинникова Н.В. Новый подход к оценке здоровья кишечника у птиц // Ветеринария. 2020. № 7. С. 56-59.
3. Сурай П.Ф., Кочиш И.И., Фисинин В.И. и др. Молекулярные механизмы поддержания здоровья кишечника птицы: роль микробиоты: Монография. Москва: Издательство «Сельскохозяйственные технологии», 2018. 344 с.
4. Лаптев Г.Ю., Новикова Н.И., Йылдырым Е.А. и др. Микробиом сельскохозяйственных животных: связь со здоровьем и продуктивностью: Монография. Санкт-Петербург: Проспект Науки, 2020. 336 с.
5. Сизова Е.А., Нечитайло К.С., Лебедев С.В. Фитобиотики как потенциальные регуляторы функциональной активности микробиома кишечника у цыплят-бройлеров - мини-обзор // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 6. С. 1071-1082.
6. Фисинин В.И., Лаптев Г.Ю., Егоров И.А. и др. Современные представления о микрофлоре кишечника птицы при различных рационах питания: молекулярно-генетические подходы: Монография. Сергиев Посад: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, 2017. 263 с.
7. Влияние кормовой добавки Бутитан (Фарматан ВСО) на гистофизиологическое состояние кишечной трубки и продуктивные качества цыплят-бройлеров / Серякова А.А., Панов В.П., Просекова Е.А. [и др.] // Аграрная наука. 2021. № S4. С. 60-65.
8. Фисинин В.И., Сурай П. Кишечный иммунитет у птиц: факты и размышления (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2013. № 4. С. 3-25.
9. Баркова О. Ю. Обзор генов, ассоциированных с резистентностью домашней курицы // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 7(73). С. 44-46.

10. Продуктивность и экспрессия генов у цыплят-бройлеров (*Gallus gallus* L.) кросса Ross 308 под влиянием антибиотиков, глифосата и штамма *Bacillus* sp. / Д.Г. Тюрина, Г.Ю. Лаптев, Е.А. Ёылдырым [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т.57. № 6. С. 1147-1165.
11. Kim T.H., Zhou H. Correction: Functional Analysis of Chicken IRF7 in Response to dsRNA Analog Poly(I:C) by Integrating Overexpression and Knockdown // PLOS ONE. 2015. Vol. 10: e0137672.
12. Systematic review of the use of phytobiotics in broiler nutrition / R.G. da S. Deminici, C. Meneghetti, E.B. de Oliveira [et al.] // Revista de Ciências Agroveterinárias. 2021. 20. 98-106.
13. Growth performance, intestinal histomorphology, gut microflora and ghrelin gene expression analysis of broiler by supplementing natural growth promoters: A nutrigenomics approach. / S.M.H. Gilani, Z. Rashid, S. Galani [et al.] // Saudi. J. Biol. Sci. 2021. 28. 3438-3447.
14. Livak K.J., Schmittgen T.D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the  $2^{-\Delta\Delta CT}$  method // Methods. 2001. 25. 402–408.
15. Экспрессия генов иммунитета и адаптации и состав микробиома у родительского поголовья кур и петухов (*Gallus gallus* L.) линий CM5 и CM9 кросса Смена 9 / Г.Ю. Лаптев, Е.А. Ёылдырым, Л.А. Ильина [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 2. С. 313-332.

## **INTESTINAL HEALTH OF BROILER CHICKENS WHEN USING PLANT EXTRACTS IN NUTRITION**

Artem Yu. Zagarin<sup>1</sup>, Larisa A. Il'ina<sup>2</sup>

1. Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
2. LLC Biotrof+

**Abstract.** Gut health is a crucial complex of physiological mechanisms that determines the productivity level and health status of poultry. The influence of plant

*extracts from chicory, St. John's wort, Leuzea carthamoides, and creeping thyme on the microbiological, immunological, and histological aspects of gut health (cecal tonsils) in broiler chickens was studied. The inclusion of these extracts in their diet increases the expression of IL8 and AvBD9, promotes the growth of Streptococcus alactolyticus, and significantly reduces crypt depth.*

**Keywords:** *gut health, broiler chickens, gene expression, intestinal microbiome, intestinal histostructure, probiotics, phytochemicals.*

УДК 619:612.342.4:591.16

## **БИОХИМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ЗДОРОВЬЯ КИШЕЧНИКА У ЖИВОТНЫХ С РАЗНЫМ ТИПОМ ПИТАНИЯ**

С.В. Карамушкина

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет-МСХА имени  
К.А. Тимирязева, Москва, e-mail:sveta\_vetmed@mail.ru

**Аннотация:** *В приведенных материалах излагаются результаты апробирования биохимического маркера отношения протеолитического фермента – трипсина к щелочной фосфатазе – фермент щеточной каймы кишечной стенки в оценке здоровья кишечника у овец, как модельных жвачных животных и кур, как представителей моногастричных с преимущественно кишечным типом пищеварения. В ходе исследований и проведенного статистического анализа можно отметить, что соотношение трипсина к щелочной фосфатазе зависит от обработки соевых продуктов (ANOVA;  $F=17,86$ ;  $p=0,0003$  для цыплят;  $F=12,80$ ;  $p=0,0011$  для овец). При включении в рацион овец необработанных нативных соевых бобов и фуражных отходов соотношение ферментов остается на контрольном уровне ( $1,547 \pm 0,041$ ), тогда как введение в рацион соевого шрота и жмыха увеличивают данный показатель на 8-10%. У цыплят-бройлеров уровень соотношения трипсина к щелочной фосфатазе значительно ниже при использовании необработанных соевых продуктов (соя -  $0,340 \pm 0,013$ ; фуражные отходы -  $0,380 \pm 0,013$ ). Что*

*может быть связано с пониженной биологической доступностью белка и влиянием антипитательных факторов.*

**Ключевые слова:** *соевые продукты, здоровье кишечника, цыплята-бройлеры, овцы, активность трипсина, щелочная фосфатаза.*

**Актуальность.** Влияние высокобелковых кормов на здоровье кишечника и состояние метаболизма жвачных животных и птиц представляет собой актуальную тему в зоотехнии и ветеринарии, поскольку такие корма, как соя и продукты её переработки (шрот, фуражные отходы), являются основными источниками протеина в рационе. Однако их применение требует строгого нормирования, учитывая физиологические особенности животных. Избыток или недостаток белка может привести к дисбалансу микробиоты кишечника, воспалительным процессам пищеварительного тракта и метаболическим нарушениям, таким как ацидоз, мочекислый диатез или снижение продуктивности.

Исследования показывают, что включение сои и её продуктов в рацион овец обычно не ухудшает здоровье кишечника, а при правильном балансе может даже улучшать пищеварение и микробиоту рубца [1].

Умеренное включение соевой шелухи (2-4%) или концентратов соевого белка в рацион бройлеров улучшает утилизацию питательных веществ, увеличивает высоту ворсинок и улучшает морфологию кишечника, способствуя лучшему росту и здоровью кишечника. Чрезмерное количество может снизить переваримость питательных веществ [2].

Биоактивные компоненты сои такие как соевые пептиды и изофлавоны увеличивают высоту ворсинок, уменьшают воспаление и усиливают экспрессию белков плотного соединения (ZO-1, окклюдин, клаудин-1), что приводит к лучшему всасыванию питательных веществ и целостности кишечника [3].

Отрицательное влияние на клиническое состояние желудочно-кишечного тракта чаще вызвано ненормированным применением в рационах сои и продуктов её переработки, а также с действием антипитательных факторов,



снижающих биологическую доступность питательных веществ. Особенно сильно патологическому воздействию подвержены моногастичные животные и птица.

Высокий уровень клетчатки в рационе может негативно повлиять на здоровье кишечника кур - в основном за счет растворимой клетчатки. Диеты, богатые растворимой клетчаткой, могут уменьшить высоту ворсинок и соотношение ворсинок и крипт в тонком кишечнике, что уменьшает площадь всасывающей поверхности и еще больше ограничивает поглощение питательных веществ. Нерастворимая клетчатка в чрезмерных количествах может также оказывать абразивное воздействие на слизистую оболочку кишечника [4].

Цель работы - выявить биохимические маркеры здоровья кишечника у жвачных животных и птиц при введении в рацион сои и продуктов ее переработки

**Материал и методы исследования.** В ходе проведения хронических физиологических опытов на животных (овцы и цыплята-бройлеры) с фистульной канюлей 12-ти перстной кишки исследовали порцию дуоденального химуса, полученную в нейрогуморальную фазу регуляции кишечного пищеварения. В содержимом 12-ти перстной кишки у цыплят-бройлеров и у овец определяли активность протеолитического фермента трипсина по методике Вертипрахова В.Г. (2022) с использованием хромогенного субстрата BAPNA [5]. Активность щелочной фосфатазы - фермента щеточной каймы кишечной стенки исследовали на полуавтоматическом биохимическом анализаторе BS-3000M («Sinnowa», КНР) с использованием наборов биохимических реагентов для ветеринарии «ДиаВетТест» (ООО «ДИАВЕТ», Россия).

Для статистической обработки результатов использовали программу Statistica (<https://www.statsoft.pl/en/software/statistica/>), выполняли расчет средних значений ( $M$ ) и среднеквадратичных отклонений ( $\pm SD$ ), коэффициентов корреляции Пирсона ( $r$ ). Достоверность различий

устанавливали по t-критерию Стьюдента, различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Активность трипсина и щелочной фосфатазы в дуоденальном химусе служит ключевыми индикаторами здоровья кишечника у экспериментальных животных. Трипсин, как протеолитический фермент поджелудочной железы, отражает эффективность расщепления белков в просвете кишечника. Понижение его активности часто указывает на ингибирование антипитательными факторами (например, ингибиторами трипсина в соевых продуктах), что приводит к нарушению пищеварения и потенциальному стрессу кишечника. Щелочная фосфатаза, преимущественно мембранный фермент энтероцитов (кишечная щелочная фосфатаза), ассоциирована с состоянием кишечного барьера, абсорбцией питательных веществ и защитой от патогенов. Высокая активность щелочной фосфатазы свидетельствует о здоровых энтероцитах и эффективном всасывании, в то время как снижение может указывать на нарушение барьерной функции, воспаление или дисбиоз микробиоты.

Соотношение трипсина к щелочной фосфатазе (Т/ЩФ) может служить комплексным маркером баланса между протеолизом и барьерной функцией: оптимальное соотношение предполагает гармоничный метаболизм белка без ущерба для целостности слизистой.

Таблица 1 - Показатели активности трипсина и щелочной фосфатазы дуоденального химуса в нейрогуморальная фаза секреции у цыплят бройлеров (через 1 час после кормления) и у овец (через 5 часов после кормления)

Экспериментальные соевые продукты	Трипсин, Ед/л	Щелочная фосфатаза, Ед/л	Соотношение трипсин/щ.фосфатаза
Цыплята -бройлеры			
Шрот	2091, 3 ± 5,67	4996, 2 ± 10,27	0,418 ± 0,005
Соевые бобы	909,5 ± 2,55	2620,5 ± 11,37	0,340 ± 0,013 <sup>a</sup>
Экструдированная соя	1236,8 ± 5,67	3517,5 ± 6,07	0,351 ± 0,017 <sup>a</sup>
Фуражные отходы	1067,7 ± 0,94	2809,4 ± 7,73	0,380 ± 0,013 <sup>a</sup>
Окара	2230,4 ± 4,65	3004,4 ± 5,61	0,742 ± 0,078 <sup>a</sup>
Овцы			
Основной рацион	879,09 ± 20,56	569,27 ± 11,83	1,547 ± 0,041
Соевые бобы	1055,37 ± 16,84	721,54 ± 15,90	1,466 ± 0,033

Шрот	1151,51 ± 25,24	690,48 ± 9,64	1,672 ± 0,042 <sup>B</sup>
Жмых	1202,71 ± 26,49	704,99 ± 12,61	1,708 ± 0,045 <sup>B</sup>
Фуражные отходы	826,31 ± 17,04	530,40 ± 17,85	1,571 ± 0,058

Примечание: <sup>a</sup> p<0,05 у цыплят по сравнению с соевым шротом; <sup>B</sup> p<0,05 у овец по сравнению с основным рационом

Необработанные продукты соевые бобы и фуражные отходы в рационе цыплят-бройлеров демонстрируют значительное снижение активности трипсина (-56,5% и -48,9% от шрота) и ALP (-47,6% и -43,8%), что связано с ингибированием трипсина и высоким содержанием клетчатки, ограничивающих протеолиз и барьерную функцию [6]. Низкое соотношение трипсина к щелочной фосфатазе (0,340–0,380) указывает на дисбаланс, увеличивающий риск дисбиоза и воспаления, что подтверждается Вертипраховым и соавт. (2020), где низкая активность трипсина коррелирует с нарушением пищеварения у птиц [7]. Окара (+6,7% по трипсину, +77,5% по T/ALP) и шрот обеспечивают оптимальное здоровье кишечника, улучшая перевариваемость и снижая воспаление за счет высокой активности щелочной фосфатазы, которая поддерживает иммунный гомеостаз [8]. Экструдированная соя, при использовании ее в качестве белковой добавки, занимает промежуточное положение, улучшая протеолиз, но не достигая уровня шрота и окары [9]. Для бройлеров необработанные продукты повышают риск некротического энтерита из-за ослабленного барьера [6].

Обработанные продукты (жмых, шрот) значительно улучшают ферментативные показатели дуоденального химуса овец (+21–36% по трипсину и ALP, +8–10% по T/ALP), обеспечивая эффективный протеолиз и надежный барьер, что поддерживает микробиоту в дуоденуме [10]. Соевые бобы дают умеренный прирост (+20,1% по трипсину, +26,8% по ALP), но ингибиторы трипсина снижают эффективность по сравнению с жмыхом и шротом. Фуражные отходы ухудшают показатели на 6%–6,8%, что может быть связано с низкой биодоступностью белка. Трипсин/щелочная фосфатаза у всех групп близко к норме (1,5), что объясняется компенсаторной ролью рубцовой ферментации, снижающей влияние антипитательных веществ [11]. Многие

авторы подчеркивают, что стабильная активность щелочной фосфатазы у жвачных животных коррелирует с устойчивостью кишечника к дисфункциям, что подтверждает адекватность рационов с соей для овец [12].

Сравнение соотношения трипсина к щелочной фосфатазе (Т/ЩФ) в дуоденальном химусе цыплят-бройлеров и овец при одинаковых рационах (соевые бобы, фуражные отходы, соевый шрот) позволяет выявить различия в физиологии пищеварения, чувствительности к антипитательным факторам и здоровье кишечника у моногастричных (куры) и жвачных животных (овцы).

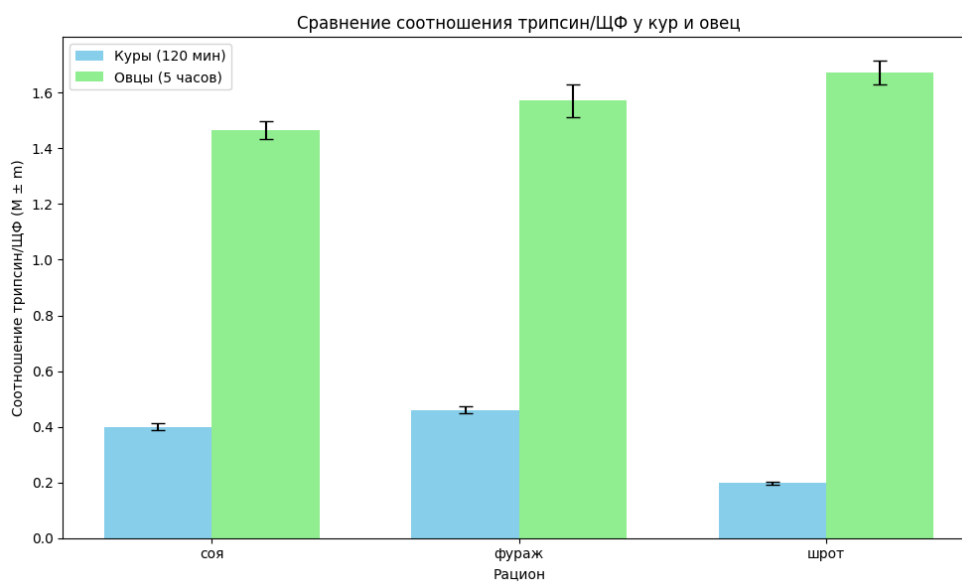


Рисунок 2 - Соотношение ферментов дуоденального химуса кур и овец при введении в рацион соевых продуктов

Показатель Т/ЩФ в дуоденальном химусе у цыплят-бройлеров значительно ниже нормы (0,340–0,418) для всех рационов, особенно при введении необработанных соевые бобы и фуражных отходов, что связано с чувствительностью моногастрических к ингибиторам трипсина и клетчатке, ограничивающим протеолиз. Это повышает риск мальабсорбции, дисбиоза и воспаления, особенно на необработанных рационах [13]. Соевый шрот улучшает здоровье (высокий трипсин и щелочная фосфатаза), но относительно низкое Т/ЩФ может указывать на необходимость оптимизации рационов.

У овец показатель Т/ЩФ находится в оптимальном диапазоне (1,466–1,672) для всех рационов, что отражает устойчивость жвачных животных к антипитательным факторам благодаря рубцовой ферментации [11].

Для оценки влияния различных форм соевых продуктов (шрот, соевые бобы и фуражные отходы) на ферментативный баланс в желудочно-кишечном тракте цыплят-бройлеров кросса ROSS-308 и овец был проведён односторонний дисперсионный анализ (ANOVA) соотношения активности трипсина к щелочной фосфатазе (Т/ALP)

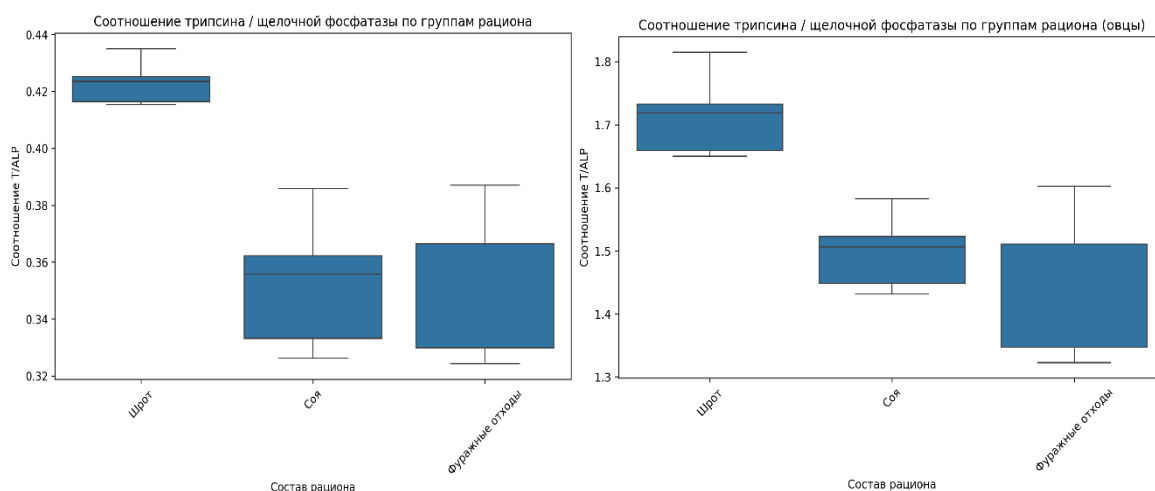


Рисунок 3 - Результаты одностороннего дисперсионного анализа (ANOVA) взаимосвязи соотношения активности трипсина к щелочной фосфатазе от состава рациона, где А – у цыплят-бройлеров Б- у овец

У цыплят-бройлеров состав рациона существенно влиял на соотношение Т/ALP ( $F=17,86$ ;  $p=0,0003$ ), с большим эффектом размера ( $\eta^2=0,7485$ ). Средние значения составили: шрот –  $0,4231 \pm 0,0079$ ; соевые бобы –  $0,3527 \pm 0,0239$ ; фуражные отходы –  $0,3549 \pm 0,0267$ . Эти данные указывают на преобладание протеолитической активности (трипсин) над барьерной функцией (щелочная фосфатаза) в группе с шротом.

У овец влияние рациона на соотношение Т/ALP также оказалось значимым ( $F=12,80$ ;  $p=0,0011$ ), с большим эффектом ( $\eta^2=0,6808$ ). Средние

значения: шрот –  $1,7151 \pm 0,0665$ ; соевые бобы –  $1,4983 \pm 0,0606$ ; фуражные отходы –  $1,4588 \pm 0,1193$ .

Сравнение результатов ANOVA для цыплят и овец выявляет общие и видоспецифические закономерности. В обеих моделях шрот обеспечивает максимальное соотношение T/ALP ( $0,4231$  у цыплят vs.  $1,7151$  у овец), что свидетельствует о превосходстве протеолитической активности относительно барьерной функции кишечника, вероятно, за счёт повышенного содержания биоактивных пептидов и изофлавонов (Peng et al., 2024; Li et al., 2023). Однако абсолютные значения соотношения у овец в 4–5 раз выше, что обусловлено физиологическими различиями: у жвачных преобладает рубцовый протеолиз с акцентом на микробный синтез белка, в отличие от пристеночного пищеварения у моногастрических цыплят. Эффект размера сильнее у цыплят ( $\eta^2=0,7485$ ), указывая на большую чувствительность их тонкого кишечника к соевым добавкам.

**Заключение.** Полученные результаты экспериментального исследования и анализа литературных данных свидетельствуют о перспективности использования соотношения активности трипсина к щелочной фосфатазе (T/ALP) в качестве биохимического маркера оценки здоровья кишечника при включении в рацион сои и продуктов её переработки.

Соотношение T/ALP отражает баланс между протеолитической активностью (трипсин как индикатор эффективности переваривания белков) и барьерной функцией слизистой (кишечная щелочная фосфатаза, как детоксификатор липополисахаридов и регулятор микробиоты; Lallès, J. (2014). По данным исследования Peng et al., (2024); Li et al., (2023) включение соевых продуктов, особенно шрота, обогащённого биоактивными пептидами и изофлавонами, усиливает баланс ферментов щеточной каймы при высокобелковых рационах, способствуя пролиферации энтероцитов, снижению воспаления на 20–30%. У цыплят-бройлеров T/ALP характеризует повышенную чувствительность кишечника к соевым добавкам, отражая улучшение пристеночного пищеварения и всасывания питательных веществ, в то время как

у овец маркер ассоциируется с оптимизацией рубцовой ферментации и синтеза летучих жирных кислот (на 12–15%), минимизируя риск субклинического ацидоза.

В перспективе требуется дальнейшее изучение динамики маркера в долгосрочных экспериментах с контролем питательности рационов, чтобы исключить дисбиоз при избытке сои. В целом, T/ALP представляет собой надёжный инструмент мониторинга кишечного гомеостаза.

### **Список литературы**

1. Hao X., Zhang M., Zhang X., Mu C., Zhang C., Zhao J., & Zhang J. (2021). Effects of feeding corn bran and soybean hulls on nutrient digestibility, rumen microbial protein synthesis, and growth performance of finishing lambs. *Animal: an international journal of animal bioscience*, 100172. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100172>
2. Ahsan T., Tahir M., Naz S., Khan R., Alhidary I., Abdelrahman S., & Selvaggi M. (2024). Effect of soy hulls as alternative ingredient on growth performance, carcass quality, nutrients digestibility and intestinal histological features in broilers. *Italian Journal of Animal Science*, 23, 1336 - 1347. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2024.2397495>
3. Peng H., Song X., Chen J., Xiong X., Yang L., Yu C., Qiu M., Zhang Z., Hu C., Zhu S., Xia B., Wang J., Xiong Z., Du L., & Yang C. (2024). Soybean bioactive peptide supplementation improves gut health and metabolism in broiler chickens. *Poultry Science*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104727>
4. Rahmatnejad E., & Saki A. (2016). Effect of dietary fibres on small intestine histomorphology and lipid metabolism in young broiler chickens. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 100 4, 665-72. <https://doi.org/10.1111/jpn.12422>
5. Вертипрахов В. Г. Физиология кишечного пищеварения у кур (экспериментальный подход). М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. 175 с.

6. Barekattain R., Howarth G., Willson N., Cadogan D., & Wilkinson S. (2020). Excreta biomarkers in response to different gut barrier dysfunction models and probiotic supplementation in broiler chickens. PLoS ONE, 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237505>
7. Вертипрахов В. Г. Новый подход к оценке здоровья кишечника у птиц / В. Г. Вертипрахов, Н. Н. Гогина, Н. В. Овчинникова // Ветеринария. – 2020. – № 7. – С. 56-59. – DOI 10.30896/0042-4846.2020.23.7.56-59. – EDN CFPNBJ
8. Singh S., & Lin H. (2021). Role of Intestinal Alkaline Phosphatase in Innate Immunity. Biomolecules, 11. <https://doi.org/10.3390/biom11121784>
9. Zhou K., Burello N., Wang W., Archbold T., Leung H., Kiarie E., & Fan M. (2017). 463 Broiler chickens express differential alkaline phosphatase activity and enzyme affinity in hydrolyzing ATP along the small intestinal longitudinal axis. Journal of Animal Science, 95, 227-227. <https://doi.org/10.2527/ASASANN.2017.463>
10. Dissanayake W., Chandanee M., Lee S., Heo J., & Yi Y. (2023). Change in intestinal alkaline phosphatase activity is a hallmark of antibiotic-induced intestinal dysbiosis. Animal Bioscience, 36, 1403 - 1413. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0052>, Singh, S., & Lin, H. (2021). Role of Intestinal Alkaline Phosphatase in Innate Immunity. Biomolecules, 11. <https://doi.org/10.3390/biom11121784>.
11. Lambo M., H., Zhang H., Song P., Mao H., Cui G., Dai B., Li Y., & Zhang, Y. (2023). Mechanism of action, benefits, and research gap in fermented soybean meal utilization as a high-quality protein source for livestock and poultry. Animal Nutrition, 16, 130 - 146. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.10.003>
12. Ghosh S., He H., Wang J., Korzun W., Yannie P., & Ghosh S. (2018). Intestine specific expression of human chimeric intestinal alkaline phosphatase attenuates Western diet induced barrier dysfunction and glucose intolerance. Physiological Reports, 6. <https://doi.org/10.14814/phy2.13790>



13. Lallès J. (2019). Recent advances in intestinal alkaline phosphatase, inflammation, and nutrition. Nutrition reviews. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz015>

## **BIOCHEMICAL MARKERS OF INTESTINAL HEALTH IN ANIMALS WITH DIFFERENT DIETARY PATTERNS**

S.V. Karamushkina

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
Moscow, Russia

**Summary:** *The present materials present the results of testing the biochemical marker of the ratio of proteolytic enzyme - trypsin to alkaline phosphatase - enzyme of the brush border of the intestinal wall in the assessment of intestinal health in sheep, as model ruminants and chickens, as representatives of monogastrics with predominantly intestinal type of digestion. During the research and the statistical analysis performed, it can be observed that the ratio of trypsin to alkaline phosphatase depends on the processing of soy products (ANOVA;  $F=17.86$ ;  $p=0.0003$ ). When unprocessed native soybeans and forage waste were included in the diet of sheep, the ratio of enzymes remained at the control level ( $1.547 \pm 0.041$ ), whereas the introduction of soybean meal and cake into the diet increased this ratio by 10%. In broiler chickens, the level of trypsin to alkaline phosphatase ratio is significantly lower with unprocessed soy products (soybean -  $0.340 \pm 0.013$ ; forage waste -  $0.380 \pm 0.013$ ). This may be due to reduced protein bioavailability and the influence of anti-nutritional factors.*

**Keywords:** Soy products, gut health, broiler chickens, sheep, trypsin activity, alkaline phosphatase.

УДК 636:612.015

## **ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА СОИ НА ПОКАЗАТЕЛИ РУБЦОВОГО ПИЩЕВАРЕНИЯ У ОВЕЦ**

С. В. Карамушкина

ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет,

**Аннотация:** В работе излагается материал исследования рубцового содержимого овец, получавших в качестве основного рациона отходы соевого производства (солома и фураж). Применение данного вида кормов значительно увеличивает количество инфузорий, которые в свою очередь оказывают влияние на биохимические показатели рубцового содержимого.

**Ключевые слова:** Рубцовое содержимое, отходы соевого производства, количество инфузорий, биохимические показатели, овцы.

**Актуальность.** Основным индикатором, отражающим интенсивность процессов пищеварения, является ферментативная активность пищеварительных соков. Возможность ферментативной системе приспособливаться к постоянно меняющимся условиям кормления достаточно широко изучена [1-5].

У жвачных животных, обладающих сложной системой желудков ферментативная активность соков подвержена постоянной изменчивости и зависит от многих факторов таких как состав кормов, состав микрофлоры преджелудков, активности основных пищеварительных желез, количества активных клеток в оболочке рубца, и т.д. [6].

Состав корма оказывает сильное влияние на микробиоту рубца, а она в свою очередь определяет ферментативную активность рубцового содержимого. Так же ферментный состав содержимого рубца зависит от секреторной активности пищеварительных желез, так как некоторые пищеварительные ферменты способны реадсорбироваться из крови в полость рубца [7].

В основной рацион кормления жвачных в Амурской области, как и в других регионах, занимающихся выращиванием сои, входит большая доля отходов соевого производства таких как соевая солома и соевый фураж. Иногда замена общепринятых грубых и концентрированных кормов на соевые отходы составляет 100%. Особенно часто эта тенденция наблюдается в личных подсобных хозяйствах и КФХ специализирующихся на овцеводстве. Данные корма содержат большое количество сырой клетчатки, сырого протеина и

сырого жира (фуражные отходы), массовая доля этих компонентов соответственно составляет  $53,7 \pm 3,6\%$ ,  $16,15\%$  и  $6,15 \pm 0,68\%$  [8]. Данный факт не может не повлиять на интенсивность рубцового пищеварения.

Целью нашей работы является изучить влияние отходов соевого производства на ферментативную активность содержимого рубца.

**Материал и методы исследования.** Исследования проводились на базе вивария факультета ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии Дальневосточного ГАУ. Для эксперимента были подготовлены 3 головы баранов с хронической фистулой рубца. Животные были отобраны по весу ( $51 \pm 2,8$  кг) и возрасту 7 мес. Исследования проводились методом групп периодов.

В первый фоновый период животные получали основной рацион, который состоял из сена и овса. В состав экспериментального рациона входили соевая солома и соевый фураж. Животные получали экспериментальный рацион в течение одного месяца. Периоды эксперимента разделили на декады.

Взятие рубцового содержимого проводили через 3 часа после кормления. Отобранные пробы рубцового содержимого фильтровались через 6 слоев марли, затем часть содержимого фиксировалась 4% раствором формалина, другую часть центрифугировали и над осадочную жидкость исследовали на полуавтоматическом биохимическом анализаторе STAT FAX с использованием наборов биохимических реагентов для ветеринарии ДиаВетТест. В фиксированной порции содержимого исследовали общее количество простейших, при помощи счетной камеры Горяева. pH определяли электрометрическим методом, летучие жирные кислоты определяли хроматографическим методом.

**Результаты исследований.** Анализ адаптивных возможностей рубцового пищеварения к отходам соевого производства показал, что данный вид кормов значительно изменяет биохимический состав содержимого рубца (табл.1).

При анализе биохимических показателей рубцового содержимого в фоновых и экспериментальных образцах было отмечено незначительное

снижение количества мочевины и амилазы на 10 день потребления экспериментального корма.

Таблица 1 - Биохимические показатели рубцового содержимого овец, n=3

Показатели	Периоды исследования			
	Фоновый период	Экспериментальный период, сутки.		
		10	20	30
Мочевина ммоль/л	3,7±0,24	2,4±0,31	4,2±0,17	5,7±0,27
Амилаза Е/л	24,2±0,97	22,9±1,02	17,3±0,84	15,2±0,85
ЛЖК ммоль/л	79,5±6,4	79,1±7,2	89,8±6,8	104,7±12,9

В последующем на 20 и 30 день эксперимента количество мочевины увеличивается на 13% и на 54% соответственно. Также увеличивается количество ЛЖК на 20 день эксперимента на 13% и на 30 день на 31% по отношению к фоновым показателям. Количество амилазы по сравнению с фоновым периодом уменьшается к 30 дню на 38%.

Таблица 2 - Показатели рубцового пищеварения овец, n=3

Показатели	Периоды исследования			
	Фоновый период	Экспериментальный период, сутки.		
		10	20	30
pH	6,7	5,8	6,0	6,0
Общее количество инфузорий в 1 мл	240±14	209±9	580±13	690±17

Суммарное количество всех видов инфузорий в рубцовом содержимом животных, получавших в основной рацион соевую солому и фураж на 10 день незначительно уменьшается до 209 в 1 мл. Однако на 20 и 30 день эксперимента этот показатель вырос на 141 и 187% по отношению к фоновому периоду. (Табл.2)

pH содержимого рубца у животных в фоновый период составила 6,7, а на экспериментальном рационе снизилось до 6,0.

**Заключение.** При использовании в качестве основного рациона отходов соевого производства (солома и фураж) у овец значительно увеличивается количество инфузорий. Этому способствует сырая клетчатка и сырой протеин, составляющие основную массовую долю этих кормов.

Изменение со стороны биохимических показателей коррелируют с количеством инфузорий. Значения мочевины и ЛЖК в последнюю декаду экспериментального периода в 1,5 раза превышают фоновые показатели.

Количество амилазы при использовании соевой соломы и фуража наоборот снижается и к 30 дню достигает 15,2 моль/мл. Данные изменения были ожидаемы из-за очень низкого содержания в экспериментальном рационе легких углеводов [7].

### **Список литературы**

1. Рыков Р. А. Особенности ферментативных и микробиологических процессов в рубце овец при включении в рацион физиологически активных веществ / Р. А. Рыков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 2(46). – С. 55-61. – DOI 10.36508/RSATU.2020.19.89.008. – EDN KZAXRR.

2. Довыденкова М. В. Выделение и изучение видового состава микроорганизмов рубца у гибридных овец / М. В. Довыденкова // Аграрная наука. – 2023. – № 10. – С. 57-62. – DOI 10.32634/0869-8155-2023-375-10-57-62. – EDN GXNZUT.

3. Лахонин П. Д. Влияние биологически активного комплекса продуктов на рубцовое пищеварение овец / П. Д. Лахонин, П. С. Вьючная // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2023. – № 11. – С. 97-106. – DOI 10.36871/vet.zoo.bio.202311013. – EDN VPTPLI.

4. Никанова Д. А. Влияние живых дрожжей на микробиоценоз и ферментативные процессы в рубце овец / Д. А. Никанова // Ветеринария и кормление. – 2023. – № 7. – С. 57-60. – DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-7-14. – EDN EKURBM.

5. Сенчук И. В. Изучение влияния ферментно-пробиотического препарата "Бацелл+" на состояние рубцового пищеварения овцематок / И. В. Сенчук, А. И. Агалаков //. – 2013. – № 151. – С. 117-124. – EDN TAGDCJ.

6. Шайдуллин С. Ф. Влияние ферментных препаратов на рубцовое пищеварение, преваримость и усвояемость питательных веществ у овец / С. Ф.

Шайдуллин // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2014. – Т. 218, № 2. – С. 294-301. – EDN SEYACV.

7. Структурно-метаболические процессы в рубце и влияние на них факторов питания (теоретические и практические аспекты пищеварения у жвачных животных) / В. В. Малашко, Г. А. Тумилович, Омар Хуссейн Али Али [и др.] // Сельское хозяйство - проблемы и перспективы: сборник научных трудов / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь; Учреждение образования "Гродненский государственный аграрный университет". - Гродно, 2016. - Т. 33: Ветеринария. - С. 88-100.

8. Карамушкина С. В. Перспективы использования отходов производства сои в овцеводстве / С. В. Карамушкина, А. В. Вадько // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях, Благовещенск, 21 апреля 2021 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2021. – С. 52-55– EDN HDIAIH.

## **THE EFFECT OF SOY PRODUCTS ON THE INDICATORS OF SCAR DIGESTION IN SHEEP**

S.V. Karamushkina

Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk

**Summary:** *The paper presents the material of a study of the scar content of sheep that received soy production waste (straw and fodder) as their main diet. The use of this type of feed significantly increases the number of infusoria, which in turn affect the biochemical parameters of the scar content.*

**Keywords:** *Scar content, soy production waste, number of infusoria, biochemical parameters, sheep.*

## **РОЛЬ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА В МЕТАБОЛИЗМЕ КАЛЬЦИЯ У МОНО - И ПОЛИГАСТРИЧНЫХ ЖИВОТНЫХ**

Д.А. Ксенофонтов

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА  
имени К.А.Тимирязева, 127434, Российская Федерация, Москва, ул.

Тимирязевская, 49, smu@rgau-msha.ru

**Аннотация.** Для изучения метаболизма кальция на уровне пищеварительного тракта были проведены исследования на мини-пигах и быках. Из разных отделов тонкого и толстого кишечника получены образцы химуса, его эндогенные и экзогенные компоненты, слой слизистых наложений, слизистая оболочка и серозно-мышечный слой кишечной стенки. Во всех образцах методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии определено содержание кальция.

**Ключевые слова** кишечник, химус, кальций, плотная эндогенная фракция, слизистая оболочка

Кальций является одним из наиболее важных элементов в организме, который прямо или опосредованно участвует во всех физиологических процессах. Его обмен регулируется широким спектром гормональных факторов и биологически активных веществ на разных этапах абсорбции, усвоения и экскреции. В настоящее время хорошо известно, что недостаточность кальция в рационе, либо патология его обмена вызывают остеомалацию или остеопороз, вызванный одновременной резорбцией минерального и органического компонентов, нарушается передача нервных импульсов и мышечное сокращение, свертывание крови и секреция желез, дифференцировка и гибель клеток, реализация иммунного ответа [1]. Избыток кальция в рационах может оказаться не менее вредным, чем его недостаток, хотя в практических условиях такая ситуация мало вероятна. В условиях интенсивных технологий в животноводстве, возникающий при нарушениях метаболизма кальция,

симптоматический комплекс может проявляться снижением продуктивности и нарушением воспроизводительной функции [2, 3].

Несмотря на то, что механизмы абсорбции и поддержания гомеостаза кальция на уровне внутренней среды организма изучены весьма подробно, вопрос о его обмене в полости пищеварительного тракта исследован недостаточно [4, 5]. Известные положения о постоянстве состава химуса и механизмах, обеспечивающих его гомеостазирование при различных рационах питания, показывают, что энтеральная среда должна сохранять относительно стабильный состав и соотношение масс его ингредиентов, а недостаток веществ в химусе может быть экскретирован из внутренней среды организма. При этом новая концепция о структурно-функциональной организации полостного пищеварения указывает на важную роль эндогенных компонентов гастро-энтеральной среды, как в обеспечении гомеостазирования химуса, так и в процессах его формирования [6, 7]. В этой связи целью работы стало выявление закономерностей метаболизма кальция на уровне пищеварительного тракта при участии эндогенных структур химуса у моно- и полигастричных животных.

Для изучения метаболизма кальция на уровне гастро-энтеральной среды были проведены эксперименты на 3 головах быков-кастратов черно-пестрой породы 16 месячного возраста и на 4 головах мини-пиггов светлогорской популяции. Условия содержания и кормления соответствовали требованиям ветеринарно-санитарных и зоотехнических норм. В конце эксперимента проводили контрольный убой с извлечением желудочно-кишечного тракта, из которого отбирали образцы химуса и стенки из отделов тонкого и толстого кишечника. Химус по разработанной методике с изменением реологических показателей путем разведения изотоническим растворителем с последующим декантированием и центрифугированием супернатанта фракционировали на пищевые частицы (ПЧ), растворимую (РФ) и плотную эндогенную (ПЭФ) [8].

В стенке каждого отдела тонкого и толстого кишечника выделяли слой слизистых наложений (СШ) по методике, основанной на механической вибрации, в результате которой отделяется поверхностный и относительно



рыхло связанный слой слизистых наложений без отслоения самого эпителиального пласта. Полученный супернатант, центрифугировали 10 мин при скорости 5000 об/мин. В результате в осадок переходит слой слизистых наложений (ССН). [9]. Участок кишки после отделения слизистых наложений разделяли на слизистый слой (СС), делая соскоб кишечной стенки шпателем, и получали серозно-мышечный слой (СМС).

Во всех образцах определяли содержание кальция методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе «Спектр 5-4». Результаты обработаны статистически с помощью программы Excel.

Мини-пиги – новый вид лабораторных животных, который все шире используют в медико-биологических целях. В целом пищеварение этих животных, относящихся к моногастричным животным, видоспецифично на уровне желудка и толстого отдела кишечника, где велика роль симбиотических микроорганизмов, что объясняет всеядность этих животных. Было установлено, что по мере продвижения химуса по кишечнику выявлены определенные закономерности в структуре соотношения эндогенных и экзогенных фракций. Изменение доли сухой массы ПЧ и РФ в химусе взаимообусловлены: количество ПЧ в сухом веществе химуса возрастает с 28% в проксимальной части тонкого кишечника до 68 % в прямой кишке, а количество РФ напротив снижается с 53 до 12%, что обусловлено преобладанием абсорбции воды с растворенными нутриентами. Доля ПЭФ в сухом веществе химуса относительно постоянна на протяжении кишечника и составляет 18-20%. В конце тонкого кишечника её уровень снижается до 8%, что, вероятно, обусловлено деструкцией полостными ферментами и активизацией симбиотической микрофлоры. В толстом отделе кишечника доля ПЭФ увеличивается до 13-19%, что, вероятно, является необходимым для удержания воды и поддержания гомеостаза в химусе при его уплотнении и иссушении.

Минеральный анализ компонентов химуса у мини-пигов показал, что, уже начиная с 12-ти перстной кишки, кальций кумулируется в ПЭФ, а его концентрация в ней увеличивается в 11,5 раз с 4 до 46 г/кг сухого вещества в

дистальном отделе тонкой кишки, при этом количество растворимого кальция становится минимальным (рисунок 1). В толстом отделе кишечника у мини-пигов кальций равномерно распределен между ПЭФ и РФ на уровне 17-24 г/кг сухого вещества. Динамика кальция в ПЧ указывает на увеличение концентрации в дистальном направлении тонкого кишечника с 2,3 до 15 г/кг сухого вещества вследствие опережающего гидролиза органической части, а, начиная со слепой кишки, где активизируются симбиотические микроорганизмы, концентрация элемента в ПЧ вновь снижается до 7 г/кг сухого вещества вследствие активного гидролиза нутриентов.

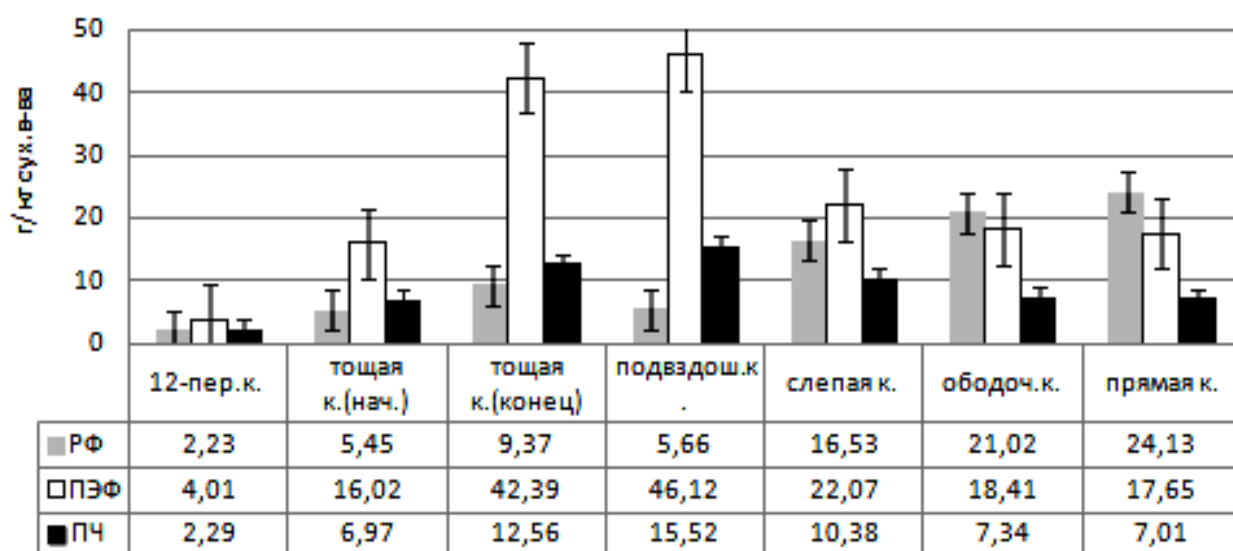


Рисунок 1. Концентрация кальция по фракциям химуса у мини-пигов (г/кг сухого вещества)

Дополнительной характеристикой энтерального гомеостазирования кальция стала его концентрация в стенке кишечника (рисунок 2). В серозно-мышечном слое отмечается минимальная концентрация кальция, которая составляет на протяжении кишечника 0,7-1,9 г/кг сухого вещества, увеличиваясь в сторону толстого отдела кишечника, что является функциональной характеристикой гладкомышечной и соединительной ткани. В слизистой оболочке тонкого и толстого кишечника концентрация кальция в 2,4-4 раза выше, чем в СМО, и, вероятно, связано с активацией абсорбции элемента. В пристеночном слое слизистых наложений тонкой кишки мини-

пигов концентрация кальция в целом 2-2,5 раза ниже, чем в слизистом слое. Максимальная концентрация кальция зафиксирована в ССН, при этом, начиная с тонкой кишки, она резко возрастает с 3,1 до 17,4 г/кг сухого вещества, что в 3 раз выше, чем в СС. Фиксация кальция ССН также физиологически необходима для структурной организации, что особенно важно в толстом отделе кишечника, где симбиотическая микрофлора максимально активна.

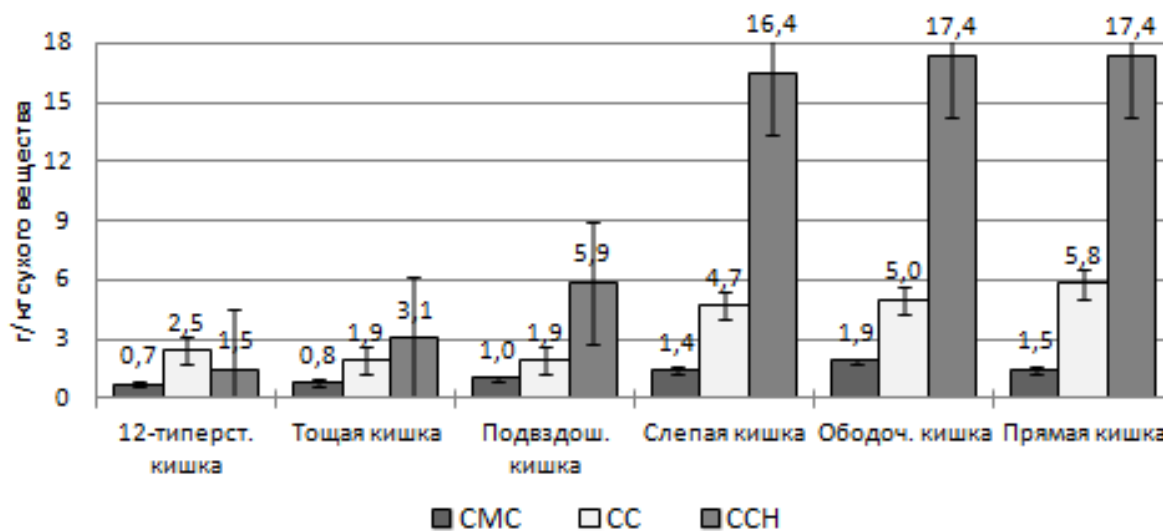


Рисунок 2. Концентрация кальция в стенке кишечника у мини-пигов (г/кг сухого вещества)

Являясь двусторонним процессом, транспорт кальция через стенку пищеварительного тракта и обеспечивает не только кальциевый гомеостаз во всем организме, но и служит источником элемента для клеток тканей стенки ЖКТ.

У жвачных животных энтеральный метаболизм кальция также имеет определенные закономерности (рисунок 3). В химусе у быков отмечается закономерное увеличение его концентрации с 5 до 19 г/кг сухого вещества в тонком и толстом отделах кишечника, обусловленное изменением содержания в РФ и ПЭФ. В РФ химуса 12-ти перстной кишки концентрация кальция самая низкая – 8,6 г/кг сухого вещества, но в дистальном направлении увеличивается в 4,2-4,7 до 40 г/кг сухого вещества в толстом отделе кишечника. Уровень элемента в ПЭФ в тонком отделе кишечника изменяется параллельно

содержанию растворимого кальция, увеличиваясь с 6,3 г/кг сухого вещества в 12-ти перстной кишке до 36 г/кг сухого вещества в прямой.

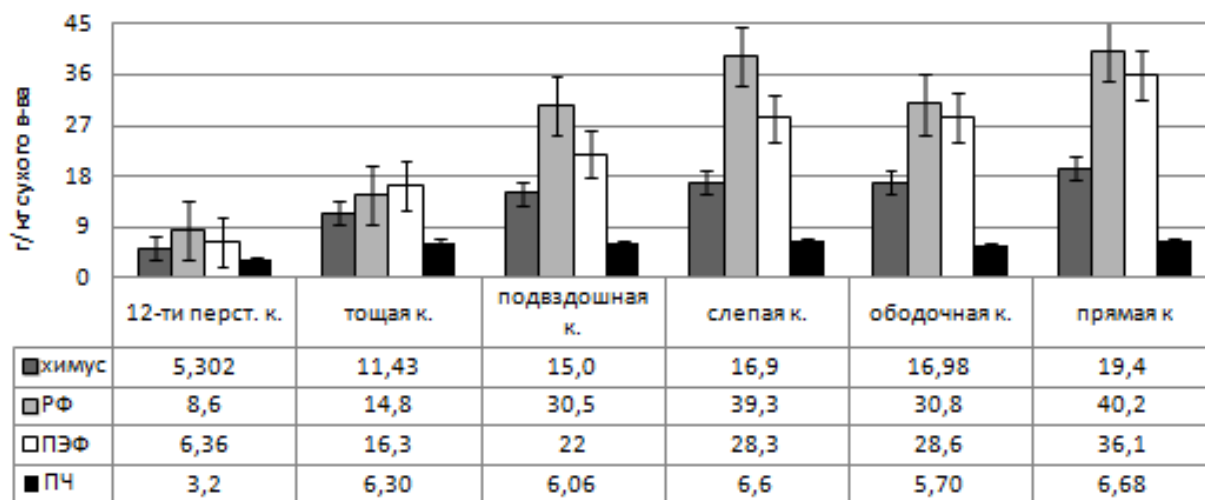


Рисунок 3. Концентрация кальция по фракциям химуса у быков (г/кг сухого вещества)

Учитывая, что в цельном химусе РФ и ПЭФ составляют единое целое в виде энтероплазмы химуса, уровень кальция в них существенно влияет на процессы полосного пищеварения. Увеличение кальция в РФ и в ПЭФ, не только препятствует абсорбции элемента, но, возможно, кальций, как двухвалентный катион, связываясь с гликопротеинами полостной слизи, влияет на формирование её структуры.

Таким образом, в энтеральном химусе плотная эндогенная фракция, содержащая флокулярные образования полостной слизи, которые в нативном химусе в гидратированном состоянии образует своеобразную энтероплазму, составляющую большую часть его объема (98-99%). Анализ соотношения минеральных элементов в ПЭФ химуса мини-пиггов показал, что на долю кальция в 12-ти перстной кишке приходится 50,3%, в тощей и подвздошной - 65,8 и 68%, в слепой, ободочной и прямой - 57; 53; 57,3 %, соответственно. Такое количество элемента свидетельствует об участии кальция в формировании ПЭФ и в перераспределении кальция между растворимыми и

связанными формами, что фактически образует динамичную систему, которая зависит внешних и внутренних факторов.

На протяжении тонкого и в начале толстого отдела кишечника наибольшая концентрация кальция фиксируется в плотной эндогенной фракции, что в разы превышает уровень элемента в пристеночной слизи, слизистом эпителии, гладкомышечном слое. Такая закономерность не случайна и имеет физиологический смысл. Во-первых, создается градиент концентрации кальция в направлении из кишечной полости во внутреннюю среду организма, во-вторых, сдерживается его абсорбции в кровь, что создает определенное депо кальция на уровне энтеральной среды, в-третьих, путем перераспределения между кальцием в растворимой фракции и связанным с полостной слизью возможна регуляция скорости его всасывания.

Значительную кумуляцию кальция полостной слизью можно считать физиологической нормой и объяснить способностью кальция, как активного комплексообразователя, взаимодействовать с гидроксильными группами гликопротеинов, что неизбежно влияет на пространственную структурированность и химический состав энтероплазмы химуса. Высокая плотность адсорбированных катионов кальция является необходимой не только для ускорения абсорбции, но и для устойчивой организации пространственно-ориентированной структуры молекул гликопротеинов и её с поддержания при агрессивном воздействии нутриентов и гидролитических ферментов. Устойчивость зарядов между молекулами гликопротеидов кишечной слизи придает энтероплазме химуса свойства жидкого кристалла с определенными динамическими и пластическими свойствами необходимыми для полостного пищеварения. Таким образом, взаимодействие кальция с гликопротеинами плотной эндогенной фракции и слоя слизистых наложений имеет важное значение в поддержании кальциевого гомеостаза не только на уровне гастро-энтеральной среды, но и организма в целом.

#### **Список литературы.**

1. Kellett GL. Alternative perspective on intestinal calcium absorption: proposed complementary actions of Ca<sub>v</sub>1.3 and TRPV6. *Nutr Rev.* 2011 Jul;69 (7):347-70.
2. Ахполова В. О. Обмен кальция и его гормональная регуляция / В.О. Ахполова, В.Б. Брин // Журнал фундаментальной медицины и биологии. – 2017. – № 2. – С. 38-46.
3. Шептицкий В. А. Роль кальция в абсорбции моносахаридов в тонкой кишке / В. А. Шептицкий, Л. Д. Полякова, И. Ю. Буровенко [и др.] // Биохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосферы: Труды Международного биогеохимического Симпозиума, посвященного 125-летию со дня рождения академика А.П. Виноградова и 90-летию образования Приднестровского университета. В 2-х томах, Тирасполь, 05–07 ноября 2020 года. Том 1. – Тирасполь: Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, 2020. – С. 338-351.
4. Diaz de Barboza G, Guizzardi S, Tolosa de Talamoni N. Molecular aspects of intestinal calcium absorption. *World J Gastroenterol.* 2015 Jun 21;21(23):7142-54.
5. Felix Bronner Recent developments in intestinal calcium absorption, *Nutrition Reviews*, Volume 67, Issue 2, 1 February 2009, P. 109–113
6. Иванов А.А. Экспериментальное обоснование роли структурирования и других характеристик химуса в определении функциональных возможностей желудочно-кишечного тракта при проведении энтерального питания / А.А. Иванов, Е.П. Полякова, Д.А. Ксенофонтов // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2009. – № 6. – С. 51-56.
7. Ксенофонтов Д.А. Общебиологические закономерности в структурно-функциональной организации полостного пищеварения / Д.А. Ксенофонтов, А.А. Ксенофонтова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 7-2(121). – С. 115-118.
8. Полякова Е.П. Метод изучения полостного пищеварения / Е.П. Полякова, Д.А. Ксенофонтов, А.А. Иванов // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2016. – № 12(136). – С. 110-114.

9. Питран Б.В. Сорбционные процессы на начальных этапах всасывания в тонкой кишке / Б.В. Питран, А.Б. Атлавин, М.Р. Апсите и др. // Мембранное пищеварение и всасывание. Рига, 1986. - С.107-109.

## **THE ROLE OF THE DIGESTIVE TRACT IN CALCIUM METABOLISM IN MONO- AND POLYGASTRIC ANIMALS**

D.A. Ksenofontov

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy  
127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49, smu@rgau-msha.ru

**Summary:** *To study calcium metabolism in the digestive tract, studies were conducted on minipigs and bulls. Samples of chyme, its endogenous and exogenous components, the mucous membrane layer, the mucosa, and the seromuscular layer of the intestinal wall were obtained from different sections of the small and large intestines. Calcium content was determined in all samples using atomic absorption spectrophotometry.*

**Keywords:** *intestine, chyme, calcium, dense endogenous fraction, mucous membrane*

УДК 636.52/.58:591.132:612.34

## **ВЛИЯНИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ КИНОА В РАЦИОН КУР-НЕСУШЕК НА ЭКЗОКРИННУЮ ФУНКЦИЮ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И МИНЕРАЛЬНЫЙ ОБМЕН**

Лопатина В.В. – аспирант, ассистент, e-mail: lopatina.v@rgau-msha.ru

Научный руководитель Вертипрахов Владимир Георгиевич – доктор биологических наук, профессор, e-mail: vertiprakhov63@mail.ru,

ФГБОУ ВО российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева

**Аннотация.** *В настоящей статье изучено влияние включения киноа (Chenopodium quinoa) в рацион кур-несушек на показатели экзокринной функции поджелудочной железы и минерального обмена. Эксперимент*

проведён на фистульных курах-несушках кросса «Хайсекс Уайт» в возрасте 20 недель и старше. Птица была распределена на контрольную группу и три опытные группы с включением киноа в количестве 5, 10 и 15% от массы корма. В дуоденальном химусе через 1 и 2 часа после кормления определяли активность трипсина и щелочной фосфатазы, а также содержание кальция и фосфора. Выявлено, что добавление киноа оказывает дозозависимое влияние на экзокринную функцию поджелудочной железы и показатели минерального обмена. При включении 5% киноа выявлено выраженное и устойчивое снижение активности трипсина в дуоденальном химусе — на 26,1% через 1 час и на 19,9% через 2 часа после кормления ( $p < 0,05$ ). Одновременно через 2 часа после кормления активность щелочной фосфатазы увеличивалась на 43,9% ( $p < 0,05$ ), содержание кальция снижалось на 13,9%, а содержание фосфора — на 15,8% через 1 час и на 13,2% через 2 часа по сравнению с контрольной группой ( $p < 0,05$ ). При увеличении уровня киноа до 10% активность трипсина снижалась преимущественно через 1 час после кормления ( $p < 0,05$ ), тогда как активность щелочной фосфатазы возрастала более чем в 2 раза через 1 и 2 часа ( $p < 0,05$ ) при одновременном снижении содержания кальция на 27,2% через 1 час и на 26,5% через 2 часа после кормления ( $p < 0,05$ ). Добавление в рацион 15% киноа сопровождалось выраженным повышением активности щелочной фосфатазы — на 59,2% через 1 час и на 115,1% через 2 часа после кормления ( $p < 0,05$ ), а также увеличением содержания кальция на 13,9% во второй час после кормления ( $p < 0,05$ ), при отсутствии достоверных изменений активности трипсина и содержания фосфора. Полученные данные расширяют представления о дозозависимом влиянии киноа на экзокринную функцию поджелудочной железы и минеральный обмен у кур-несушек при уровне включения 5–15% от массы корма и дополняют ранее опубликованные результаты, полученные при низком уровне добавки (1%), с использованием фистульной технологии.



**Ключевые слова:** куры-несушки, киноа, дуоденальный химус, поджелудочная железа, трипсин, щелочная фосфатаза, кальций, фосфор, минеральный обмен.

В современных условиях интенсификации птицеводства и роста стоимости традиционных источников кормового белка и минеральных добавок особую актуальность приобретает поиск альтернативных растительных компонентов рационов, обладающих высокой питательной ценностью и физиологической полноценностью [1]. При этом приоритетное значение имеет не только химический состав кормовых ингредиентов, но и их влияние на функциональное состояние пищеварительной системы и обменные процессы у сельскохозяйственной птицы [2].

Киноа (*Chenopodium quinoa*) рассматривается как перспективный нетрадиционный кормовой компонент благодаря высокому содержанию белка, благоприятному аминокислотному профилю и значительному уровню минеральных веществ [3,4]. В то же время зерно киноа содержит антипитательные соединения, в частности фитиновую кислоту и сапонины, способные оказывать влияние на активность пищеварительных ферментов и биодоступность кальция и фосфора [5,6]. В этой связи физиологическая оценка воздействия киноа на процессы пищеварения и минерального обмена у кур-несушек является важной научной и практической задачей.

Экзокринная функция поджелудочной железы играет ключевую роль в регуляции переваривания и усвоения питательных веществ у птицы и отличается высокой чувствительностью к изменению состава дуоденального химуса [1,7]. Активность панкреатических ферментов, в том числе трипсина, а также показатели минерального обмена и активности щелочной фосфатазы могут служить информативными маркерами адаптационных реакций пищеварительной системы при включении в рацион нетрадиционных растительных компонентов [8].

Ранее было показано, что включение низких уровней киноа (1%) в рацион кур-несушек оказывает положительное влияние на ферментативную активность

и минеральный обмен, что подтверждает перспективность дальнейшего изучения дозозависимых эффектов данного кормового компонента [9].

В связи с этим актуальным является комплексное изучение дозозависимого влияния киноа на экзокринную функцию поджелудочной железы и минеральный обмен у кур-несушек с использованием фистульной технологии, позволяющей непосредственно оценивать изменения состава дуоденального химуса в постпрандиальный период.

Целью настоящего исследования было изучить дозозависимое влияние включения зерна киноа (5, 10 и 15% рациона) на активность ключевых пищеварительных ферментов (трипсин, щелочная фосфатаза) и концентрацию кальция и фосфора в дуоденальном химусе кур-несушек в ранний постпрандиальный период (через 1 и 2 часа после кормления).

Задачи исследования:

1. Оценить динамику активности трипсина и щелочной фосфатазы через 1 и 2 часа после кормления.
2. Определить изменение содержания кальция и фосфора через 1 и 2 часа после кормления.
3. Проанализировать характер и устойчивость адаптационных изменений пищеварительной системы в зависимости от уровня включения киноа.

**Материал и методы исследования.** Эксперимент проведён на фистульных курах-несушках кросса «Хайсекс Уайт (Hisex White)» в возрасте 20 недель и старше в условиях вивария РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева в 2025 году, в соответствии с действующими принципами гуманного обращения с животными. Птица содержалась в одинаковых условиях, соответствующих зоогигиеническим нормам. Количество экспериментальных животных определяли в соответствии с методическими рекомендациями ВНИТИП для проведения физиологических и балансовых опытов на сельскохозяйственной птице (Егоров И.А. и др. *Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-*

*генетические методы определения микрофлоры кишечника*. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2013. 51 с.).

Фистульные куры с вживлённой дуоденальной фистулой были распределены методом случайной выборки на четыре группы по 3 особи в каждой: контрольную группу, получавшую основной рацион без добавки киноа, и три опытные группы, в основной рацион которых дополнительно включали киноа в количестве 5, 10 и 15% от массы корма соответственно. Суточное потребление корма птицей контролировали и поддерживали на сопоставимом уровне во всех группах. Продолжительность опыта во всех группах составила 14 дней.

Для оценки влияния добавки киноа на ферментативную активность и показатели минерального обмена у кур-несушек применяли фистульные технологии и лабораторные биохимические методы. Физиологические опыты проводили в утренние часы. Образцы дуоденального химуса отбирали в постпрандиальный период через 1 и 2 часа после кормления, центрифугировали при 7000 об/мин в течение 5 минут, после чего в надосадочной жидкости определяли активность ферментов и содержание кальция и фосфора. Перед анализом надосадочную жидкость разбавляли физиологическим раствором в соотношении 1:10.

Биохимические показатели определяли с использованием полуавтоматического биохимического анализатора BS-3000M (Sinnova, Китай). Активность трипсина в дуоденальном химусе определяли кинетическим методом с использованием в качестве субстрата нитроанилида бензоил-DL-аргинина (BAPNA) в соответствии с методикой, описанной Вертипраховым и Грозиной (2018) [9]. Активность щелочной фосфатазы, а также содержание кальция и фосфора определяли с применением коммерческих наборов реагентов производства («ДиаВет», Россия).

Статистическую обработку результатов проводили с использованием методов вариационной статистики; достоверность различий оценивали по t-

критерию Стьюдента при сравнении каждой опытной группы с контрольной, различия считали достоверными при  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования.** Результаты исследования показали, что включение киноа в рацион кур-несушек сопровождается изменением показателей ферментативной активности и минерального состава дуоденального химуса (табл. 1).

Таблица 1 - Ферментативная активность и показатели минерального обмена в дуоденальном химусе кур-несушек при включении киноа в рацион

Показатель	После кормления	Контроль	5% киноа	10% киноа	15% киноа
Активность трипсина, ед/л	1 час	2332,6±137,8	1723,7±108,2*	1763,2±68,5*	2315,1±146,5
	2 часа	2480,1±149,6	1987,8±158,1*	2167,7±137,1	2213,4±170,3
Активность щелочной фосфатазы, ед/л	1 час	1127,0±98,1	1394,1±107,3	2585,5±289,6*	1794,6±111,4*
	2 часа	908,7±76,1	1307,7±96,7*	2335,0±336,3*	1954,6±129,0*
Кальций, ммоль/л	1 час	54,0±2,4	48,4±2,0	39,3±2,0*	50,3±2,1
	2 часа	48,3±2,2	41,6±1,9*	35,5±1,7*	55,0±2,0*
Фосфор, ммоль/л	1 час	10,1±0,3	8,5±0,3*	10,6±0,5	10,1±0,4
	2 часа	10,6±0,3	9,2±0,5*	10,6±0,4	10,2±0,4

Примечание: \* – различия по сравнению с контрольной группой статистически значимы при  $p < 0,05$ .

В таблице представлены значения активности трипсина и щелочной фосфатазы, а также содержания кальция и фосфора в дуоденальном химусе кур-несушек контрольной и опытных групп через 1 и 2 часа после кормления.

При включении 5% киноа в рацион кур-несушек отмечалось достоверное снижение активности трипсина в дуоденальном химусе по сравнению с контрольной группой: на 26,1% через 1 час и на 19,9% через 2 часа после кормления ( $p < 0,05$ ). Активность щелочной фосфатазы при данном уровне добавки достоверно увеличивалась через 2 часа после кормления на 43,9% ( $p < 0,05$ ). Содержание кальция снижалось на 13,9% через 2 часа после кормления, а содержание фосфора — на 15,8% через 1 час и на 13,2% через 2 часа по сравнению с контролем ( $p < 0,05$ ).

При увеличении уровня включения киноа до 10% выявлено достоверное снижение активности трипсина на 24,4% через 1 час после кормления ( $p<0,05$ ), при отсутствии достоверных различий через 2 часа. В то же время активность щелочной фосфатазы в данной группе возрастала на 129,4% через 1 час и на 156,9% через 1 и 2 часа после кормления по сравнению с контрольной группой ( $p<0,05$ ). Содержание кальция при 10% киноа достоверно снижалось на 27,2% через 1 час и на 26,5% через 2 часа после кормления ( $p<0,05$ ).

Использование 15% киноа сопровождалось высокой вариабельностью показателей. В данной группе отмечалось достоверное повышение активности щелочной фосфатазы на 59,2% через 1 час и на 115,1% через 2 часа после кормления по сравнению с контролем ( $p<0,05$ ). Содержание кальция достоверно увеличивалось на 13,9% через 2 часа после кормления ( $p<0,05$ ). Изменения активности трипсина и содержания фосфора при данном уровне включения киноа носили недостоверный характер.

**Обсуждение результатов.** Результаты исследования показывают, что включение киноа в рацион кур-несушек сопровождается изменением показателей ферментативной активности и минерального состава дуоденального химуса, при этом характер изменений определяется уровнем добавки.

При 5% киноа снижение активности трипсина сохранялось в течение всего исследуемого постпрандиального периода. Это может быть связано с особенностями белковой фракции киноа и присутствием фитиновой кислоты, влияющих на доступность белковых субстратов для протеаз. Одновременно повышение активности щелочной фосфатазы на фоне снижения содержания кальция и фосфора отражает активацию кишечных механизмов регуляции минерального обмена, направленных на поддержание фосфорно-кальциевого баланса.

При 10% киноа снижение активности трипсина носило временный характер и проявлялось только через 1 час после кормления, тогда как через 2 часа показатели соответствовали контрольным значениям. В то же время

изменения минерального обмена становились более выраженными, что сопровождалось значительным повышением активности щелочной фосфатазы и снижением концентрации кальция в дуоденальном химусе.

При 15% киноа наблюдалась высокая вариабельность показателей. Повышение активности щелочной фосфатазы и изменение содержания кальция во второй час после кормления свидетельствуют о нестабильности процессов минерального обмена и вариабельности ответных реакций пищеварительной системы при данном уровне включения киноа.

**Заключение.** Включение киноа в рацион кур-несушек приводит к изменению постпрандиального пищеварения, затрагивая экзокринную функцию поджелудочной железы и показатели минерального обмена, что подтверждается изменениями активности трипсина, щелочной фосфатазы, а также содержания кальция и фосфора в дуоденальном химусе. Установлено, что влияние киноа носит дозозависимый характер. При уровне включения 5% формируются устойчивые адаптационные изменения показателей пищеварения, затрагивающие протеолитическую активность и кишечную регуляцию минерального обмена. При увеличении доли киноа до 10% изменения преимущественно касаются минерального обмена при сохранении стабильности протеолитической функции поджелудочной железы. Включение 15% киноа характеризуется высокой вариабельностью физиологических показателей, что свидетельствует о нестабильности постпрандиальных процессов пищеварения при данном уровне добавки.

#### **Список литературы**

1. Фисинин В. И., Вертипрахов В. Г., Грозина А. А., Хасанова Л. В. Панкреатическая секреция и усвоение аминокислот в кишечнике кур при разных источниках белка // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 2. С. 374–381. doi: 10.15389/agrobiology.2017.2.374rus.
2. Vertiprakhov V. G., Dashieva B. S., Grigoriev A. M., Ashikhmina V. D. Mechanism of exogenous enzymes participation in the regulation of digestion and

metabolism in model chickens // *Frontiers in Veterinary Science*. 2025. T. 12. doi: 10.3389/fvets.2025.1701604.

3. Repo-Carrasco R., Espinoza C., Jacobsen S.-E. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) // *Food Reviews International*. 2003. T. 19, C. 179–189. doi: 10.1081/FRI-120018884

4. Martínez-Villaluenga C., Peñas E., Hernández-Ledesma B. Pseudocereal grains: nutritional value, health benefits and current applications // *Food and Chemical Toxicology*. 2020. T. 137. doi: 10.1016/j.fct.2020.111178.

5. Vega-Gálvez A., Miranda M., Vergara J., Uribe E., Puente L., Martínez E. A. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010. T. 90. C. 2541–2547. doi: 10.1002/jsfa.4158

6. Selle P. H., Ravindran V. Microbial phytase in poultry nutrition // *Animal Feed Science and Technology*. 2007. T. 135. C. 1–41. doi: 10.1016/J.ANIFEEDSCI.2006.06.010

7. Vertiprakhov V. G., Ovchinnikova N. V. Trypsin activity in poultry pancreatic juice and blood increases simultaneously during the post-prandial period // *Frontiers in Physiology*. 2022. T. 13. doi: 10.3389/fphys.2022.874664.

8. Selle P. H., Cowieson A. J., Ravindran V. Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs // *Livestock Science*. 2022. T. 256. doi: 10.1016/j.livsci.2021.104824.

9. Вертипрахов В. Г., Грозина А. А. Способ оценки адаптации пищеварения птицы к ингредиентному составу рациона: патент ТРФ № 2742175, опубл. 02.02.2021.

10. Лопатина В. В. Влияние добавки киноа на пищеварение и метаболизм кур-несушек // *Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2025. Т. 263 (3). С. 46-51. doi: 10.31588/2413\_4201\_1883\_3\_263\_46.

# EFFECT OF QUINOA INCLUSION IN THE DIET OF LAYING HENS ON EXOCRINE PANCREATIC FUNCTION AND MINERAL METABOLISM

V. V. Lopatina

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49,

**Summary.** *This study investigated the effects of dietary inclusion of quinoa (Chenopodium quinoa) on the exocrine pancreatic function and mineral metabolism in laying hens. The experiment was conducted on duodenally fistulated laying hens of the Hisex White cross aged 20 weeks and older. Birds were allocated to a control group and three experimental groups receiving diets supplemented with quinoa at 5, 10, and 15% of feed mass. Trypsin and alkaline phosphatase activities, as well as calcium and phosphorus concentrations, were determined in duodenal chyme 1 and 2 hours after feeding. Quinoa supplementation exerted a dose-dependent effect on pancreatic enzyme activity and mineral metabolism. At 5% inclusion, trypsin activity in duodenal chyme decreased significantly by 26.1% at 1 hour and by 19.9% at 2 hours post-feeding ( $p<0.05$ ). Simultaneously, alkaline phosphatase activity increased by 43.9% at 2 hours ( $p<0.05$ ), accompanied by a decrease in calcium concentration by 13.9% and phosphorus concentration by 15.8% at 1 hour and 13.2% at 2 hours compared with the control group ( $p<0.05$ ). At 10% quinoa inclusion, trypsin activity decreased predominantly at 1 hour post-feeding ( $p<0.05$ ), whereas alkaline phosphatase activity increased by more than twofold at both sampling times ( $p<0.05$ ), accompanied by a reduction in calcium concentration by 27.2% at 1 hour and 26.5% at 2 hours post-feeding ( $p<0.05$ ). Dietary supplementation with 15% quinoa resulted in a pronounced increase in alkaline phosphatase activity by 59.2% at 1 hour and 115.1% at 2 hours post-feeding ( $p<0.05$ ), as well as an increase in calcium concentration by 13.9% at 2 hours ( $p<0.05$ ), while no significant changes in trypsin activity or phosphorus concentration were observed. The obtained results expand current knowledge on the dose-dependent effects of quinoa inclusion at levels of 5–15% on exocrine pancreatic function and mineral metabolism in laying hens*



*and complement previously published data obtained at a low inclusion level (1%) using fistulation techniques.*

**Keywords:** *laying hens, duodenal chyme, pancreas, exocrine function, trypsin, alkaline phosphatase, calcium, phosphorus, mineral metabolism.*

УДК 636.5.034

**IMPACT OF DIETARY GUANIDINOACETIC ACID AND PROTEIN LEVELS ON THE PRODUCTIVE EFFICIENCY, EGG QUALITY, AND INTESTINAL HEALTH OF AGED LAYING HENS EXPOSED TO HEAT STRESS**

Reza Mahdavi<sup>1\*</sup>, Ali Hossein Piray<sup>1\*</sup>, Shahab Ghazi<sup>1</sup>, Mohammad Ebrahim Nooriyan Soroor<sup>2</sup>, Viktor Viktorovich Malorodov<sup>3</sup>

1. Department of Animal Science, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

2. Department of Animal Science, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3. Department of Special Animal Husbandry, Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia.

\* Corresponding author: R.mahdavi@razi.ac.ir Tele-Fax: +98 833 8330909. ORCID: 0000-0001-9942-4273

**Abstract:** *This study aimed to investigate the effects of guanidinoacetic acid (GAA) supplementation on productive performance, egg quality, and gastrointestinal morphology of late-laying hens exposed to high ambient temperatures, when fed diets with varying crude protein (CP) levels. A total of 216 laying hens aged 90 weeks were randomly assigned to four dietary treatments, each containing six replicates of nine birds. The experimental diets included: (1) a standard protein diet (15.5% CP; control), (2) the same diet supplemented with 0.15% GAA (B-GAA), (3) a diet with 1% reduced CP plus 0.15% GAA (RP1-GAA), and (4) a diet with 2% reduced CP plus 0.15% GAA (RP2-GAA). Results indicated that hens receiving the B-GAA diet*

*had significantly higher body weight gain ( $P \leq 0.05$ ) compared with those fed the control or reduced-protein diets. However, egg production rate and feed conversion ratio were not significantly affected by dietary treatment ( $P > 0.05$ ). Feed intake, egg weight, and egg mass were improved ( $P \leq 0.05$ ) in the B-GAA group relative to the basal and RP2-GAA groups, whereas egg quality traits remained unaffected ( $P > 0.05$ ). Similarly, no significant changes were observed among treatments in jejunal villus height, width, surface area, crypt depth, or villus height-to-crypt depth ratio ( $P > 0.05$ ). Overall, the comparable performance outcomes observed between the B-GAA and RP1-GAA groups indicate that dietary crude protein can be safely reduced by 1% in aged laying hens under heat stress through supplementation with 0.15% GAA.*

**Key words:** Layers, guanidinoacetic acid, heat stress

**Introduction.** Egg production and quality tend to decline as hens reach the later stages of the laying cycle, creating a need for approaches that can sustain productivity and maintain egg quality in older flocks (Chen et al., 2011). High ambient temperatures (HT), particularly during the summer months, pose a significant global challenge to the poultry industry. In order to avoid heat stress and mortality, laying hens undergo physiological adjustments that often hinder their ability to achieve optimal genetic performance (Kim et al., 2024). Prolonged exposure to HT has been reported to reduce feed consumption (FI), body weight (BW), egg output, and overall feed efficiency, while also deteriorating egg quality. Moreover, heat stress negatively influences survival rate, electrolyte homeostasis, immune responses, intestinal structure, and antioxidant capacity in laying hens (Gholizadeh et al., 2022; Ahmed-Farid et al., 2021; Kim et al., 2024).

Due to the limited activity of enzymes responsible for arginine (Arg) synthesis, poultry exhibit minimal endogenous production of this amino acid, making dietary Arg supplementation essential. Arginine plays a vital role in numerous physiological processes, such as protein metabolism and immune function. Within macrophages, Arg is metabolized into nitric oxide (NO), which contributes to antimicrobial defense. Moreover, NO acts as a vasodilator, promoting heat dissipation—an especially

important mechanism under high-temperature (HT) conditions (Liu et al., 2019). Guanidinoacetic acid (GAA) serves as a functional Arg-sparing compound in birds, particularly in stressful or nutritionally challenging environments such as high altitude, heat stress, or low crude protein (CP) diets—provided that essential amino acid requirements are met—or when feeds include Arg-deficient ingredients like wheat, canola meal, or distillers dried grains with solubles (Amiri et al., 2019). Physiologically, exposure to HT enhances blood circulation toward the body surface and respiratory tract to facilitate heat loss. Arg is fundamental to this thermoregulatory response, as it provides the nitrogen source for NO synthesis, leading to vasodilation and reduced vascular resistance (Liu et al., 2019).

**Material and Methods.** A total of 216 ninety-week-old LSL-Lite laying hens were randomly divided into four treatments, each with six replicates of nine birds. Diets included: (1) standard protein (15.5% CP, control), (2) standard protein + 0.15% GAA (B-GAA), (3) 1% CP reduction + 0.15% GAA (RP1-GAA), and (4) 2% CP reduction + 0.15% GAA (RP2-GAA). Birds were exposed to chronic heat stress ( $32 \pm 3$  °C, 35–40% RH) for six hours daily, with feed and water provided ad libitum.

Body weight was measured at the beginning and end of the trial. Egg production, egg weight, and abnormal eggs (shell-less, soft, or cracked) were recorded daily. Egg mass was calculated as egg weight  $\times$  hen-day production. Feed intake (FI) and feed conversion ratio (FCR) were determined weekly, adjusted for mortality.

Normal eggs collected on two consecutive days at the end of the experiment were used for quality analysis. Egg shape index (length/width) was measured with a caliper, and egg, shell, albumen, and yolk weights were expressed as percentages of total egg weight. Shell thickness was measured at three points using a micrometer. At the end, one hen per replicate (six per treatment) with average BW was euthanized, and a 2 cm jejunal segment (5 cm before Meckel's diverticulum) was collected, fixed in formalin, sectioned (5  $\mu$ m), and stained with H&E. Villus height (VH), width (VW), and crypt depth (CD) were measured microscopically. Villus surface area (VSA) was calculated as:

$$VSA = 2\pi \times (VW/2) \times VH \text{ (where } \pi = 3.14)$$

Data were analyzed using a completely randomized design (GLM procedure, SAS 9.2). Duncan's multiple range test identified significant differences ( $P \leq 0.05$ ); trends were noted at  $P \leq 0.10$ .

**Table 1. Diet composition of experimental treatments**

Item	Basal diet	1% RP	2% RP
Corn	59.00	62.20	65.90
Soybean meal	24.20	21.50	18.40
Soybean oil	1.70	1.10	0.50
Wheat bran	0.70	0.70	0.70
DL-Methionine	0.20	0.18	0.17
L-Lys	0.00	0.02	0.05
Thr	0.00	0.00	0.01
Di-calcium phosphate	1.80	1.80	1.80
Limestone	9.50	9.50	9.50
Salt	0.27	0.28	0.30
NaHCO <sub>3</sub>	0.19	0.18	0.17
Vitamin & Mineral premix <sup>1</sup>	0.50	0.50	0.50
Bentonite	1.94	2.04	2.00
<b>Calculated composition</b>			
Metabolizable energy(Kcal/Kg)	2660	2660	2660
Crude protein (%)	15.50	14.50	13.50

**Results.** Table 2 shows the effects of 0.15% GAA supplementation on performance of late-laying hens fed basal or reduced-protein diets. Hens fed the B-GAA diet had higher body weight gain than those in the control, RP1-GAA, and RP2-GAA groups ( $P \leq 0.05$ ), while RP2-GAA hens showed weight loss ( $P \leq 0.05$ ). Dietary treatments did not affect egg production or FCR ( $P > 0.05$ ). However, B-GAA hens exhibited greater egg weight, egg mass, and feed intake than the control and RP2-GAA groups ( $P \leq 0.05$ ), with no difference from RP1-GAA ( $P > 0.05$ ).

**Table 2- Effect of dietary treatments on performance and body weight gain of heat-stressed late-laying hens**

Treatments	Body weight gain (g)	Egg production (H.D. %)	Egg weight (g)	Egg mass (g)	Feed intake (g/hen/day)	FCR
Control	8.17 <sup>b</sup>	73.37	63.11 <sup>bc</sup>	46.32 <sup>bc</sup>	102.49 <sup>b</sup>	2.23
B-GAA	35.23 <sup>a</sup>	74.93	64.94 <sup>a</sup>	48.65 <sup>a</sup>	108.64 <sup>a</sup>	2.19
RP1-GAA	13.87 <sup>b</sup>	73.23	64.62 <sup>ab</sup>	47.43 <sup>ab</sup>	105.58 <sup>ab</sup>	2.22
RP2-GAA	-7.50 <sup>c</sup>	72.02	62.75 <sup>c</sup>	45.18 <sup>c</sup>	102.81 <sup>b</sup>	2.27
SEM	8.030	0.790	0.690	0.819	1.680	0.029
P-value	0.002	0.35	0.05	0.01	0.004	0.20

As shown in Table 3, GAA addition did not significantly influence egg quality traits, including abnormal egg rate, Haugh unit, shape index, or component weights ( $P > 0.05$ ).

**Table 3- Effect of dietary treatments on egg quality parameters of heat-stressed late-laying hens**

Treatments 1	Abnormal eggs (%)	Shape index (%)	Haugh unit	Yolk weight (%)	Albumin weight (%)	Shell weight (%)	Shell thickness (mm)
Control	2.67	0.75	88.64	28.71	60.86	9.42	0.380
B-GAA	1.99	0.75	89.05	28.20	61.55	9.30	0.373
RP1-GAA	2.43	0.74	91.93	28.68	61.00	9.40	0.374
RP2-GAA	2.23	0.75	92.50	28.07	61.52	9.49	0.384
SEM	0.264	0.005	1.894	0.392	0.445	0.159	0.006
P-value	0.44	0.33	0.14	0.22	0.20	0.99	0.53

According to Table 4, dietary GAA had no significant effects on jejunal villus height, width, surface area, crypt depth, or VH/CD ratio ( $P > 0.05$ ).

**Table 4. Effect of dietary treatments on the intestinal morphology of heat-stressed late-laying hens**

<b>Treatments</b> 1	<b>Villus</b> <b>height</b> ( $\mu\text{m}$ )	<b>Villus</b> <b>width</b> ( $\mu\text{m}$ )	<b>Villus surface</b> <b>area</b> ( $\text{mm}^2$ )	<b>Crypt</b> <b>depth</b> ( $\mu\text{m}$ )	<b>VH/CD</b>
Control	1514.12	130.40	0.620	96.80	15.70
B-GAA	1547.20	142.80	0.694	96.40	16.08
RP1-GAA	1530.80	141.60	0.681	95.20	16.10
RP2-GAA	1527.20	140.10	0.671	93.60	16.34
SEM	15.441	3.183	0.016	2.276	0.365
P-value	0.23	0.27	0.15	0.80	0.26

**Discussion.** Hens fed the RP2-GAA diet showed body weight loss compared to those fed the control diet, likely due to lower feed intake (FI) and nutrient deficiencies such as crude protein (CP) and essential amino acids. Reduced dietary electrolyte balance may have also contributed. Conversely, GAA supplementation in the basal diet enhanced body weight gain (BWG), consistent with previous findings that GAA improves BW, carcass yield, amino acid deposition, and energy metabolism in poultry (Ahmed-Farid et al., 2021). GAA has been shown to enhance digestibility of dry matter and CP, improve creatine (Cre)-mediated muscle energy buffering, and support ATP regeneration (Raei et al., 2020). These effects collectively improve growth and energy utilization, particularly under thermal stress.

Increased FI in the B-GAA group may be linked to reduced brain serotonin and elevated nitric oxide (NO) levels, which stimulate ghrelin and appetite (Ahmed-Farid et al., 2021). GAA may also influence amino acid metabolism, increasing both essential and non-essential amino acid concentrations in muscle tissue and supporting protein synthesis. Furthermore, GAA can upregulate myogenic genes through AKT/mTOR signaling, promoting muscle development (Wang et al., 2018), while sparing dietary arginine (Arg) for other metabolic roles (Dilger et al., 2013). These combined effects explain the enhanced BW observed in hens supplemented with GAA.

Diets containing 1–2% less CP but supplemented with GAA maintained egg production, egg mass, feed intake, and feed conversion ratio (FCR) similar to the standard protein diet. The B-GAA diet even outperformed the control, suggesting that GAA allows partial protein reduction without performance loss under heat stress. Reduced egg weight in hens fed the RP2-GAA diet was expected due to insufficient CP and methionine, both vital for egg formation. Similar results have been reported in laying hens and quails (Salah et al., 2020; Azizollahi et al., 2024), confirming GAA's beneficial role. However, some studies (Khakran et al., 2018) found no significant effect on performance, though slight increases in egg production were still noted.

The physiological mechanism may involve the Arg-sparing effect of GAA and Arg's role in NO synthesis. NO stimulates gonadotropin-releasing hormone (GnRH) secretion, enhancing follicle-stimulating hormone (FSH) and luteinizing hormone (LH) production, which regulate follicle development and ovulation (McCann et al., 1999). Increased LH and FSH levels following GAA supplementation may thus improve reproductive performance (Khakran et al., 2018; Basiouni, 2009). Moreover, NO-induced vasodilation can enhance nutrient delivery to reproductive organs, improving egg formation (Khan et al., 2015). GAA also supports energy conservation by improving nutrient digestibility and sparing both CP and metabolizable energy (Metwally et al., 2015). The enhanced performance of B-GAA hens may therefore result from improved nutrient utilization, reduced serotonin-mediated appetite suppression, and increased NO levels. Nonetheless, excessive CP reduction ( $\geq 4\%$ ) may limit amino acid availability, particularly Arg and methionine, thereby diminishing GAA's effectiveness (Dao et al., 2021).

Egg quality parameters, including shell thickness, yolk index, and Haugh unit, remained unaffected by dietary treatments, aligning with previous reports (Raei et al., 2020; Dao et al., 2021). Although some studies observed minor improvements in shell characteristics with GAA or Arg supplementation, these effects were not consistent (Salah et al., 2020). The lack of significant differences in our study may be

due to Arg utilization for NO synthesis under HS, leaving less available for calcium metabolism and eggshell formation.

Histological evaluation revealed numerically higher villus height (VH), villus width (VW), and villus surface area (VSA) in hens receiving GAA, suggesting improved intestinal morphology. These results align partially with findings in broilers showing enhanced gut structure and barrier integrity with GAA supplementation (Amiri et al., 2019). Improved intestinal health under HS conditions may further support nutrient absorption and metabolic efficiency. Variations among studies likely result from differences in temperature, diet composition, bird age, GAA dosage, and intestinal region examined.

In summary, dietary GAA supplementation, even in reduced-protein diets, effectively mitigated the adverse effects of chronic heat stress in aged laying hens by enhancing growth, feed intake, intestinal integrity, and energy utilization, while maintaining egg production and quality. These findings support the inclusion of GAA as a functional feed additive in layer nutrition strategies to improve performance and welfare under hot environmental conditions.

### References

1. Ahmed-Farid, O. A., A. S. Salah, M. A. Nassan, and M. S. El-Tarabany. 2021. "Performance, carcass yield, muscle amino acid profile, and levels of brain neurotransmitters in aged laying hens fed diets supplemented with guanidinoacetic acid." *Animals* 11, no. 11: 3091.
2. Amiri, M., H.A. Ghasemi, I. Hajkhodadadi, and A. H. Farahani. 2019." Efficacy of guanidinoacetic acid at different dietary crude protein levels on growth performance, stress indicators, antioxidant status, and intestinal morphology in broiler chickens subjected to cyclic heat stress." *Animal Feed Science and Technology* 254: 114208.
3. Azizollahi, M., H. A. Ghasemi, F. Foroudi, and I. Hajkhodadadi. 2024. "Effect of guanidinoacetic acid on performance, egg quality, yolk fatty acid composition, and nutrient digestibility of aged laying hens fed diets with varying



substitution levels of corn with low-tannin sorghum.” *Poultry Science* 103, no. 2:103297.

4. Chen, J., M. Wang, Y. Kong, H. Ma, and S. Zou. 2011. “Comparison of the novel compounds creatine and pyruvate on lipid and protein metabolism in broiler chickens.” *Animals* 5: 1082-1089.

5. Dao, H. T., N. K. Sharma, E. J. Bradbury, and R. A. Swick. 2021. “Response of laying hens to L-arginine, L-citrulline and guanidinoacetic acid supplementation in reduced protein diet.” *Animal Nutrition* 7, no. 2: 460-471.

6. Dilger, R. N., K. Bryant-Angeloni, R. L. Payne, A. Lemme, and C. M. Parsons. 2013. “Dietary guanidino acetic acid is an efficacious replacement for arginine for young chicks.” *Poultry Science* 92: 171-177.

7. Gholizadeh H, Torki M, Mohammadi H. 2022 “Production performance, egg quality and some blood parameters of heat-stressed laying hens as affected by dietary supplemental Vit B6, Mg and Zn.” *Veterinary Medicine and Science* 8, no. 2: 681-694.

8. Khakran, G., M. Chamani, F. Foroudi, A. A. Sadeghi, and M. A. Afshar. 2018. “Effect of guanidine acetic acid addition to corn-soybean meal based diets on productive performance, blood biochemical parameters and reproductive hormones of laying hens.” *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 24, no. 1: 99-105.

9. Khan, F.A., E. L. Scholtz, and T. S. Chenier. 2015. “The nitric oxide system in equine reproduction: current status and future directions.” *Journal of Equine Veterinary Science* 35: 481-487.

10. Kim, H. R., C. Ryu, S. D. Lee, J. H. Cho, and H. Kang. 2024. “Effects of heat stress on the laying performance, egg quality, and physiological response of laying hens.” *Animals* 14: 1076.

11. Liu, F., E. M. de Ruyter, R. Z. Athorn, C. J. Brewster, D. J. Henman, R. S. Morrison, R. J. Smits, J. J. Cottrell, and F. R. Dunshea. 2019. “Effects of L-citrulline supplementation on heat stress physiology, lactation performance and subsequent reproductive performance of sows in summer.” *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 103: 251e7.

12. McCann, S. M., C. Mastronardi, A. Walczewska, S. Karanth, V. Rettori, and W. H. Yu. 1999. "The role of nitric oxide in reproduction." *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 32: 1367-1379.
13. Metwally, A. E., D. Ibrahim, and S. I. Khater. 2015. "Effects of supplementing broiler diets with CreAMINO® on broiler performance, carcass traits and the expression of muscle growth related genes." *Research Opinions in Animal and Veterinary Sciences* 5: 435-442.
14. Raei, A., A. Karimi, and A. A. Sadeghi. 2020. "Performance, antioxidant status, nutrient retention and serum profile responses of laying Japanese quails to increasing addition levels of dietary guanidinoacetic acid." *Italian Journal of Animal Science* 19, no. 1: 75-85.
15. Salah, A. S., O. A. Ahmed-Farid, and M. S. El-Tarabany. 2020. "Effects of guanidinoacetic acid supplements on laying performance, egg quality, liver nitric oxide and energy metabolism in laying hens at the late stage of production." *Journal of Agricultural Science* 158, no. 3: 241-246.
16. Wang, Y., J. Ma, W. Qiu, J. Zhang, S. Feng, X. Zhou, X. Wang, L. Jin, K. Long, L. Liu, W. Xiao, Q. Tang, L. Zhu, Y. Jiang, X. Li, and M. Li. 2018. "Guanidinoacetic acid regulates myogenic differentiation and muscle growth through mir-133a-3p and mir-1a-3p co-mediated akt/mTOR/s6k signaling pathway." *International Journal of Molecular Sciences* 19: e2837.

УДК 57.083.13:636.5

## **ПРОПИОНОВОКИСЛЫЕ БАКТЕРИИ В РАЦИОНЕ ПОРОСЯТ-ОТЪЕМЫШЕЙ**

А.Н. Овчарова

ВНИИ физиологии, биохимии и питания животных – филиал ФИЦ животноводства – ВИЖ им. Л.К. Эрнста, Боровск, a.n.ovcharova@mail.ru

**Аннотация.** Период отъема является важным и стрессовым этапом для поросят, сопровождающимся сменой рациона и нарушением баланса микрофлоры, что негативно влияет на пищеварение и иммунитет. Ключевыми

молекулярными маркерами, отражающими иммунный и метаболический статус в этот период, выступают провоспалительные цитокины IL-6 и IL-8, а также регуляторы клеточного метаболизма сиртуины SIRT1 и SIRT3. В данном исследовании оценивалось влияние штамма пропионовокислых бактерий на экспрессию этих генов у поросят после отъема. Результаты показали, что добавление пробиотика в рацион способствовало снижению уровня IL-6 и IL-8 и увеличению уровня SIRT1 и SIRT3. Это указывает на способность пропионовокислых бактерий модулировать воспалительный ответ и положительно влиять на иммунную и метаболическую адаптацию поросят в послеотъемный период. Таким образом, использование пропионовокислых бактерий может служить эффективной стратегией для поддержания здоровья молодняка, повышения его стрессоустойчивости и продуктивности, что соответствует современным подходам к сокращению применения антибиотиков в животноводстве.

**Ключевые слова:** поросята-отъемыши, пропионовокислые бактерии, сиртуины 1 и 3, интерлейкины 6 и 8.

**Актуальность.** Формирование кишечного микробиома представляет собой сложный динамический процесс, начинающийся с момента рождения поросят. Первичную колонизацию желудочно-кишечного тракта осуществляют представители филумов *Firmicutes*, *Bacteroidetes* и *Proteobacteria*. В течение молочного периода наблюдается доминирование бактерий рода *Lactobacillus*, оптимально адаптированных к утилизации лактозы и созданию кислой среды, что предотвращает колонизацию патогенной микрофлоры. В послеотъемный период происходит значительная перестройка микробного сообщества, характеризующаяся постепенным замещением молочнокислой микрофлоры бактериями, способными ферментировать растительные полисахариды, крахмал и сложные углеводы. К 2-4 месяцам формируется стабильное зрелое микробное сообщество с высоким видовым разнообразием [1].

В условиях современного интенсивного свиноводства практика раннего отъема (в возрасте 3-4 недели) представляет собой мощный стресс-фактор,

приводящий к глубоким нарушениям микробного гомеостаза. Данное состояние характеризуется значительным снижением разнообразия микробиоты, уменьшением численности лактобацилл и бифидобактерий, а также увеличением доли условно-патогенных представителей семейств *Enterobacteriaceae*, *Proteobacteriaceae* и *Clostridiaceae* [2]. Наряду с резким переходом на твердые корма, социальный стресс, связанный с разлучением с матерью и формированием новых групп, приводит к снижению потребления корма, замедлению роста и дальнейшим неблагоприятным изменениям в несформированном микробном сообществе. В результате ранний отъем может вызывать развитие диарейного синдрома, снижение темпов роста и повышение смертности, достигающей в осложненных случаях 75% [3].

Исторически сложившаяся практика массового применения антибиотиков для контроля заболеваемости привела к глобальному распространению антибиотикорезистентности, накоплению их остатков в продукции животноводства и стойкому нарушению микробного баланса. В связи с ужесточением законодательства и ростом потребительской осведомленности особую актуальность приобретает разработка эффективных альтернативных стратегий. Среди перспективных направлений следует выделить использование пробиотиков, способных предотвращать и корректировать бактериальную диарею, модулируя функцию кишечника и иммунной системы, а также удовлетворять растущий потребительский спрос на безопасные продукты питания [4].

Особый интерес среди пробиотических микроорганизмов представляют пропионовокислые бактерии (ПКБ), обладающие уникальным комплексом физиологических свойств. ПКБ способны продуцировать широкий спектр биологически активных соединений, включая пропионовую и уксусную кислоты, бактериоцины (пропионицины, диацетил), бифидогенные факторы, а также демонстрировать выраженные иммуномодулирующие свойства. Важным аспектом их физиологической активности является ингибирование ферментов бактериального происхождения ( $\beta$ -глюкуронидазы, азаредуктазы,

нитроредуктазы), участвующих в образовании мутагенных и канцерогенных соединений. Установлена способность ПКБ к адгезии к кишечному эпителию, стимуляции роста аутохтонной микрофлоры и снижению мутагенной активности химических соединений и ультрафиолетового излучения [5].

Значительный интерес представляет способность пропионовокислых бактерий к активному синтезу витамина B12, который играет ключевую роль в процессах клеточного деления, кроветворения, метаболизма нутриентов, функционирования нервной системы и детоксикационных процессах в печени. Клинические и экспериментальные исследования подтверждают иммуномодулирующую и противовирусную активность ПКБ, связанную с активацией моноцитарно-макрофагальной системы, индукцией синтеза интерферона и повышением цитотоксической активности NK-клеток [6].

Перспективным направлением исследований является изучение влияния пробиотиков на экспрессию сиртуинов (SIRT1, SIRT3) и провоспалительных цитокинов (IL- 6, IL- 8). Современные данные свидетельствуют, что короткоцепочечные жирные кислоты, в частности бутират, способны активировать SIRT1 через ингибирование гистондеацетилаз (HDAC) [7], а также подавлять продукцию IL- 6 и IL- 8 посредством ингибирования транскрипционного фактора NF- κB. Доказано, что пробиотики могут усиливать экспрессию белков плотных контактов, улучшая барьерную функцию кишечника и снижая системную воспалительную нагрузку. Показана способность пробиотических штаммов повышать экспрессию гена SIRT1 и подавлять экспрессию IL- 6 и IL- 8, что демонстрирует их нейропротекторный потенциал [8].

Митохондриальный сиртуин SIRT3 играет важную роль в регуляции метаболизма и окислительного стресса. Исследования свидетельствуют, что пробиотические добавки способны уменьшать повреждения митохондрий печени и улучшать их функцию, повышая экспрессию ключевых ферментов, причем индуцированный пробиотиками SIRT1 активирует PGC- 1α, участвующий в поддержании митохондриального гомеостаза [9].

Многочисленные исследования *in vivo* демонстрируют эффективность пробиотиков в модуляции цитокинового профиля у поросят. Введение пробиотических добавок в рацион свиноматок и поросят приводит к достоверному снижению уровней провоспалительных цитокинов, включая IL-1 $\beta$ , TNF- $\alpha$ , IL-6 и IFN- $\gamma$ , в различных отделах кишечника и сыворотке крови [10].

Несмотря на имеющиеся данные, влияние пропионовокислых бактерий на экспрессию провоспалительных цитокинов IL-6 и IL-8 и ключевых регуляторов метаболизма SIRT1 и SIRT3 у поросят в период отъема остается недостаточно изученным. Таким образом, целью данного исследования явилась оценка влияния штамма пропионовокислых бактерий на экспрессию интерлейкинов 6 и 8 и сиртуинов 1 и 3 у поросят в послеотъемный период.

**Материал и методы исследования.** Исследование проводили в условиях вивария ВНИИФБиП-филиал ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста на помесных поросятах ( $\sigma$  датский йоркшир  $\times$   $\phi$  датский ландрас) в период отъема – 35 суток. Было сформировано две группы животных по 10 голов в каждой – контрольная и опытная. Поросята контрольной группы получали полнорационный комбикорм СК-5, поросята опытной группы в добавление к основному рациону получали штамм пропионовокислых бактерий *P. freudenreichii*, выделенный и изученный в лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии ВНИИФБиП, в дозе  $10^9$  КОЕ/мл 1 мл/гол в сутки. Длительность эксперимента составила 30 дней, в течение опыта ежедневно осуществляли контроль за общим состоянием животных. В конце опыта отбирали венозную кровь из молочной вены. С помощью набора Проба-фиколл (ДНК-технология, Россия) получали лимфоциты, из которых затем выделяли РНК и получали кДНК. Изучение экспрессии генов IL-6, IL-8, SIRT1, SIRT3 проводили методом ПЦР в режиме реального времени, в качестве референсного гена использовали ген домашнего хозяйства GAPDH. Амплификацию проводили на детектирующем амплификаторе АНК-М («Синтол», Россия) с использованием специфических праймеров и зонда.

Статистическую обработку данных проводили в программе STATISTICA 10 («StatSoft, Inc.», США).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Введение пробиотического штамма пропионовокислых бактерий в рацион поросят-отъемышей оказало выраженное модулирующее воздействие на экспрессию ключевых генов, связанных с воспалительными процессами и метаболизмом. В группе, получавшей добавку пропионовокислых бактерий, было зафиксировано достоверное снижение экспрессии провоспалительных цитокинов IL-6 и IL-8, а также повышение уровня сиртуинов 1 и 3 (см. таблицу 1). Эти результаты согласуются с опубликованными данными о способности пробиотиков, в частности пропионовокислых бактерий, влиять на сигнальные пути врожденного иммунитета за счет подавления активности ключевого провоспалительного транскрипционного фактора NF-κB, что приводит к снижению транскрипции его мишеней, таких как IL-6 и IL-8. Уменьшение уровня этих цитокинов важно физиологически: IL-6 является главным медиатором острой фазы воспаления, а IL-8 выступает хемоаттрактантом для нейтрофилов. Их подавление способствует снижению системного низкоинтенсивного воспалительного процесса, типичного для периода отъема, что, в свою очередь, улучшает целостность кишечного барьера и позволяет перенаправить энергию и питательные вещества с иммунных процессов на рост и развитие.

В обратной динамике экспрессии провоспалительных цитокинов наблюдалось значительное повышение экспрессии сиртуинов в опытной группе. SIRT1 выполняет ключевую функцию в контроле клеточного метаболизма и подавлении окислительного стресса, а также оказывает выраженное противовоспалительное действие путем деацетилирования и ингибирования субъединицы p65 транскрипционного фактора NF-κB. Митохондриальный SIRT3 представляет собой важный регулятор энергетического обмена и антиоксидантной защиты; его активация повышает эффективность окислительного фосфорилирования и снижает генерацию

реактивных форм кислорода, что критично для энергетического обеспечения энтероцитов в условиях метаболического стресса при отъеме. Представленные результаты позволяют предположить, что положительное влияние пропионовокислых бактерий реализуется по меньшей мере частично через активацию сиртуиновых сигнальных путей и подавление воспалительных реакций, создавая благоприятные условия для роста и развития поросят в постотъемный период.

Таблица 1 - Экспрессия генов IL6, IL8, SIRT3, SIRT1 у поросят (M±m)

	IL6	IL8	Sirt 1	Sirt 3	GAPDH
контроль	30,36±0,47	32,98±0,41	34,93±1,12*	34,43±0,44	31,83±0,34
опыт	32,58±0,41*	35,52±0,32*	32,34±0,18	31,12±0,64*	31,99±0,39

Примечания: уровень экспрессии указан в пороговых циклах; \*P<0.05

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлено, что применение пробиотического штамма пропионовокислых бактерий активирует сиртуины (SIRT1/SIRT3), которые подавляют NF-κB-зависимые воспалительные процессы, снижая уровень провоспалительных цитокинов IL-6 и IL-8, а также способствуют улучшению митохондриальной функции. Такое взаимодействие молекулярных механизмов создает благоприятные физиологические условия, выражающиеся в уменьшении воспаления, укреплении барьерной функции и оптимизации энергетического обмена, что положительно сказывается на продуктивности поросят в период отъема и повышении эффективности кормления.

### Список литературы

1. Frese S.A., Parker K., Calvert C.C. et al. Diet shapes the gut microbiome of pigs during nursing and weaning // Microbiome. – 2015. – Vol. 3. – P. 28. – DOI 10.1186/s40168-015-0091-8.
2. Upadhaya S.D., Kim I.H. Maintenance of gut microbiome stability for optimum intestinal health in pigs:



a review // Journal of Animal Science and Biotechnology. – 2022. – Vol. 13, No. 1. – P. 140. – DOI 10.1186/s40104-022-00790-4.

3. Muns R., Nuntapaitoon M., Tummaruk P. Non-infectious causes of pre-weaning mortality in piglets // Livestock Science. – 2016. – Vol. 184. – P. 46–57. – DOI 10.1016/j.livsci.2015.11.025.

4. Saha S., Namai F., Nishiyama K., Villena J., Kitazawa H. Role of immunomodulatory probiotics in alleviating bacterial diarrhea in piglets: a systematic review // Journal of Animal Science and Biotechnology. – 2024. – Vol. 15, No. 1. – P. 112. – DOI 10.1186/s40104-024-01070-z.

5. Altieri C. Dairy propionibacteria as probiotics: recent evidences // World Journal of Microbiology & Biotechnology. – 2016. – Vol. 32, No. 10. – P. 172. – DOI 10.1007/s11274-016-2118-0.

6. Roszkowski W., Roszkowski K., Ko H.L., Beuth J., Jeljaszewicz J. Immunomodulation by propionibacteria // Zentralblatt für Bakteriologie. – 1990. – Vol. 274, No. 3. – P. 289–298. – DOI 10.1016/S0934-8840(11)80686-9.

7. Schmidt A. et al. Короткоцепочечные жирные кислоты активируют SIRT1 через ингибирование гистондеацетилаз (HDAC) // Journal of Molecular Biology. 2025. Vol. 437, No. 3. P. 215-228. DOI: 10.1016/j.jmb.2024.12.015

8. Skalny A.V. et al. Пробиотики повышают экспрессию гена SIRT1 и подавляют IL-6, IL-8: нейропротекторный потенциал // Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2024. Vol. 16, No. 2. P. 456-467. DOI: 10.1007/s12602-023-10075-2

9. Fan J. et al. Пробиотические добавки активируют SIRT1 и регулируют митохондриальный гомеостаз через PGC-1 $\alpha$  // Cellular Metabolism. 2021. Vol. 33, No. 1. P. 112-125. DOI: 10.1016/j.cmet.2020.11.005.

10. Geng S. et al. Эффекты пробиотиков на цитокиновый профиль поросят: снижение провоспалительных цитокинов // Journal of Animal Science and Biotechnology. 2021. Vol. 12, No. 1. P. 54. DOI: 10.1186/s40104-021-00567-8

## **PROPIONIC ACID BACTERIA IN THE DIET OF WEANING PIGLETS**

A.N. Ovcharova

All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of  
Animals – branch of  
the L.K. Ernst Institute of Animal Husbandry, Borovsk,  
a.n.ovcharova@mail.ru

***Summary.** The weaning period is an important and stressful stage for piglets, accompanied by a change in diet and a violation of the balance of microflora, which negatively affects digestion and immunity. The key molecular markers reflecting the immune and metabolic status during this period are the pro-inflammatory cytokines IL-6 and IL-8, as well as the regulators of cellular metabolism sirtuins SIRT1 and SIRT3. In this study, the effect of a strain of propionic acid bacteria on the expression of these genes in piglets after weaning was evaluated. The results showed that the addition of probiotics to the diet contributed to a decrease in IL-6 and IL-8 levels and an increase in SIRT1 and SIRT3 levels. This indicates the ability of propionic acid bacteria to modulate the inflammatory response and positively influence the immune and metabolic adaptation of piglets during the post-weaning period. Thus, the use of propionic acid bacteria can serve as an effective strategy to maintain the health of young animals, increase their stress tolerance and productivity, which corresponds to modern approaches to reducing the use of antibiotics in animal husbandry.*

***Key words:** weaning piglets, propionic acid bacteria, sirtuins 1 and 3, interleukins 6 and 8.*

УДК 636.52:636.084:579.62

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФИТАЗЫ «АКСТРА ФАЙ ГОЛД» В РЕГУЛЯЦИИ ФОСФОРНОГО ОБМЕНА У КУР-НЕСУШЕК**

С.И. Полина, В.Г. Вертипрахов e-mail: polina\_sveta.93@bk.ru,  
ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА  
имени К.А. Тимирязева, Москва

**Аннотация:** В данной статье рассматривается влияние добавки фитазы «Акстра Фай Голд» на обмен фосфора и метаболизм у кур-несушек. Исследование проводилось с целью оценки эффективности этого фермента в условиях кормления птицы без фосфатных добавок. Экспериментальные группы кур, получавших фитазу в дозах 900 и 1200 FTU/kg, демонстрировали значительное повышение усвоения фосфора, что подтверждается увеличением активности трипсина и содержанием фосфора в сыворотке крови соответственно на 75,7% и 52,8%. Результаты исследования показали, что активация фосфорного обмена сопровождалась снижением активности щелочной фосфатазы в постпрандиальный период и увеличением общего белка в сыворотке крови. Наблюдались положительные изменения в углеводном обмене и уровнях калия, что свидетельствует о комплексном влиянии фитазы на метаболизм кур-несушек. Настоящее исследование подчеркивает важность использования фитазы в кормлении птицы для оптимизации усвоения питательных веществ и повышения их продуктивности. Результаты могут быть полезны для практического применения в ветеринарной медицине и животноводстве.

**Ключевые слова:** куры-несушки, фитаза, фистульные методик, фосфор

**Актуальность.** Фитаза способствует гидролизу фитата, освобождая доступный фосфор. Это особенно важно в условиях, когда корма имеют высокое содержание фитинового фосфора, так как традиционные источники фосфора (такие как монокальцийфосфат) могут быть недостаточны для полноценного питания [1]. Исследования показывают, что добавление фитазы в рацион кур-несушек способствует улучшению их продуктивности, включая увеличение яйца и улучшение кормления. Работы указывают на то, что использование фитазы может привести к увеличению массы яйца и улучшению качества скорлупы [2]. Фитаза также может оказывать положительное влияние на здоровье птиц. Улучшение усвоения фосфора снижает вероятность метаболических расстройств, связанных с недостатком этого элемента [3]. Увеличение доступности фосфора также может способствовать лучшему

обмену веществ и общему состоянию здоровья птицы. Использование фитазы в кормлении не только улучшает продуктивность, но и снижает эквивалентное выделение избыточного фосфора в окружающую среду, что делает его экологически обоснованным решением [4].

**Материал и методы исследования.** Все исследования на птице проводились в учебно-научной лаборатории физиологии питания животных, руководствуясь требованиями гуманного отношения к животным [5]. Опыты были поставлены на курах 25-30 недельного возраста кросса Хайсекс белый. Заблаговременно были выполнены хирургические операции по вживлению хронических фистул [6].

Подопытные куры были разделены случайным образом на 4 группы, по 3 курицы в каждой. Куры 1 контрольной группы получали полнорационный комбикорм (ПК-1) с уровнем доступного фосфора 0,38% - 1(к), 2 опытной группы - полнорационный комбикорм (ПК) без добавления фосфатов – 2 (о); 3 опытной группы - ПК без добавления фосфатов + фитаза «Акстра Фай ГОЛД 10 Т» - 66 мг/кг (активность фитазы в препарате составила 13726 единиц фитазы (FTU/ в 1 г); 4 опытная группа - ПК без добавления фосфатов + фитаза «Акстра Фай ГОЛД 10 Т» - 87 мг/кг – 4(о).

**Результаты исследований.** Активность пищеварительных ферментов в дуоденальном содержимом является определяющим фактором в гидролизе и усвоении питательных веществ корма. Регуляция пищеварительной деятельности включает сложнорефлекторную и нейрогуморальную фазы.

Фермент фитаза оказывает влияние на субстрат с момента поступления в пищеварительный канал птицы, то есть в ротовой полости, поэтому задачей нашего эксперимента было определить действие фитазы на дуоденальные ферменты и макроэлементы, используя фистульные технологии.

Показатели активности ферментов дуоденального содержимого представлена на рисунке 1.

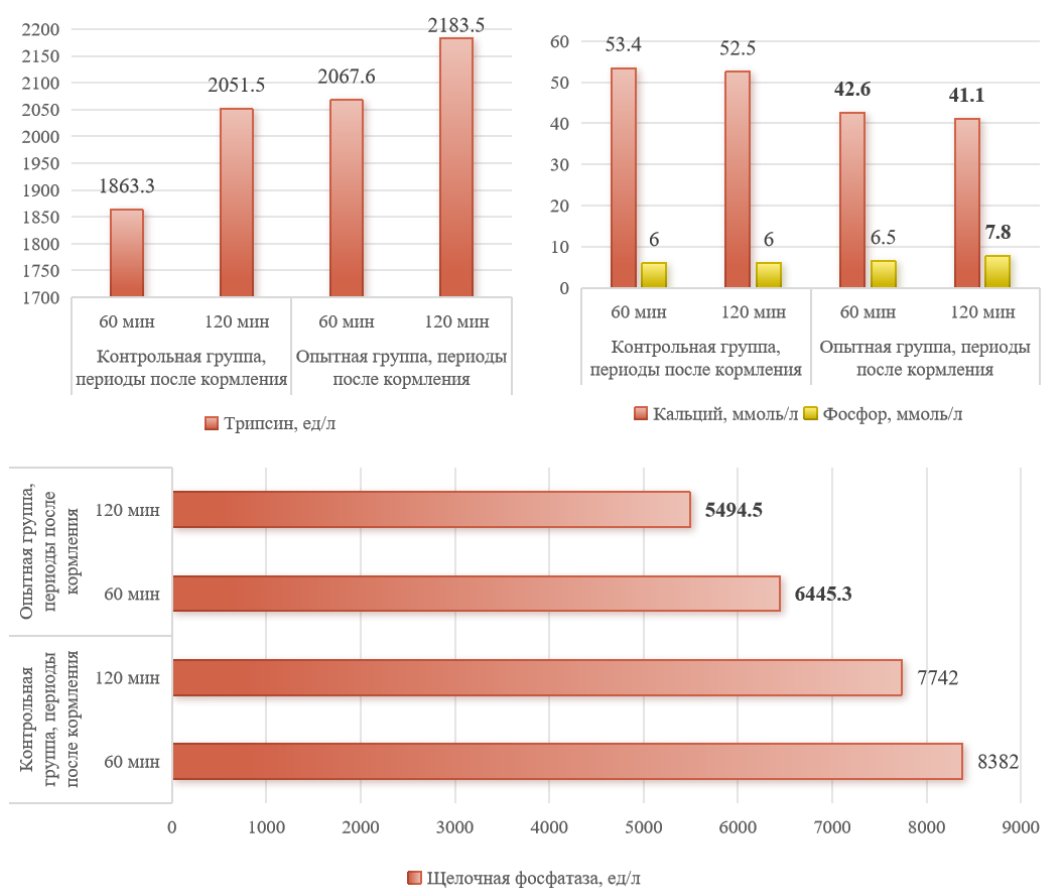


Рисунок 1 - Активность пищеварительных ферментов и содержание макроэлементов в дуоденальном содержимом

Активность трипсина, зафиксированная во время сложнорефлекторных этапов пищеварения, выступает индикатором привлекательности рациона для птицы, где более высокий уровень подразумевает большую аппетитность корма. В параллели, измерение этой активности спустя 120 минут после приема пищи отражает нейрохимические процессы и позволяет оценить реальную питательную ценность корма. Согласно данным из рисунка, достоверных различий в активности трипсина между контрольной и опытной группами не обнаружено, что указывает на отсутствие влияния добавки фитазы «Акстра Фай Голд» на рецепторы в ротовой полости кур-несушек, ответственные за восприятие белковых ингредиентов.

В постпрандиальный период активность щелочной фосфатазы в опытной группе снижается на 23,1% через 60 минут и на 29,0% через 120 минут по сравнению с контрольной, вероятно, из-за высвобождения фосфатов из

растительного сырья под воздействием фитазы, что уменьшает физиологическую нужду в фосфоре примерно на треть. Аналогично, уровень кальция в опытной группе показывает снижение на 20,2% через 60 минут и на 21,7% через 120 минут, обусловленное параллельным ростом фосфора, который возрастает на 30%. Особенно заметно повышение фосфора через 120 минут, когда его показатели превышают те, что были зафиксированы в первые 60 минут, на 20%, подтверждая эффективность фитазы в извлечении фосфора из растительных элементов рациона. В итоге, среда двенадцатиперстной кишки способствует оптимальному поглощению фосфора из кормов, повышая общую эффективность пищеварения. Результаты фосфорного обмена в опыте представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Баланс и илеальная доступность общего фосфора в рационе кур-несушек при содержании их на рационе без добавления фосфатов при добавлении фитазы

Показатель	Группа			
	1 (к)	2 (о)	3 (о)	4 (о)
Потреблено на одну несушку в сутки фосфора, г	0,63	0,50	0,52	0,53
Выделено на одну несушку в сутки фосфора, г	0,272	0,151	0,161	0,128
С илеальным содержимым	0,270	0,150	0,160	0,126
С мочой	0,002	0,001	0,001	0,002
Усвоено организмом несушки за сутки, г	0,358	0,349	0,359	0,402
Выделено с яйцом, г	0,201	0,132	0,186	0,292
Баланс, г	+0,16	+0,22	+0,17	+0,11
Усвоено организмом, %	43,2	69,8	69,0	75,8

Результаты эксперимента указывают, что усвоение фосфора у птиц, которых кормят рационом без фосфорных добавок, снижается на 20,6%, 17,5% и 15,9% относительно первой контрольной группы в группах 2, 3 и 4 соответственно. При использовании корма, без добавления фосфатов, отмечается выраженный положительный баланс, вызванный сниженной яйценоскостью у кур и эффективным поглощением доступного фосфора, что на 26,6% превосходит результаты первой контрольной группы. Включение фитазы в дозе 900 FTU/kg способствует улучшению фосфорного обмена в организме птицы: наблюдается рост яйценоскости и повышенное выделение фосфора

через яйца, что помогает выровнять фосфорный баланс с показателями контрольной группы. Самой эффективной дозировкой фитазы следует считать 1200 FTU/kg, поскольку в этом случае поглощение фосфора организмом птицы увеличивается на 12,3% по сравнению с контрольной группой.

Биохимический анализ крови у животных предоставляет не только данные об общем состоянии здоровья, но интенсивность метаболических процессов. Для оценки метаболизма учитываем параметры минерального обмена, такие как уровни кальция и фосфора, которые имеют решающее значение для организма кур-несушек. Результаты экспериментов по изучению влияния фитазы на биохимию крови у кур представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Биохимические показатели крови кур-несушек при добавке фитазы на фоне рациона без добавления фосфатов ( $M \pm m$ ,  $n=12$ )

Показатель	Группа			
	1 (к)	2 (о)	3 (о)	4 (о)
Амилаза, ед/л	540±57,1	422±51,1	461±20,1	553±40,3
Трипсин, ед/л	165±19,7	181±19,9	189±19,4	189±28,5
Глюкоза, ммоль/л	10,1±0,31	5,8±0,46*	6,3±0,52	9,9±1,0
Триглицериды, ммоль/л	3,4±0,81	3,1±0,72	4,0±0,78	2,5±0,72
Холестерин, ммоль/л	3,2±0,15	3,4±0,27	3,2±0,32	3,1±0,11
Кальций, ммоль/л	4,5±0,45	3,9±0,43	4,8±0,40	4,1±0,39
Фосфор, ммоль/л	1,8±0,11	1,9±0,14	1,6±0,07	2,3±0,13*
Мочевая кислота, мкмоль/л	86,6±9,80	203±22,60*	133,0±12,20*	111,0±21,00
Щелочная фосфатаза, ед/л	561±51,6	450±33,7	481±80,4	542±0,67
Общий белок, г/л	54,9±1,3	62±3,2*	56±1,2	55±0,9

Примечание \* различия с 1 контрольной группой статистически значимо, при  $p < 0.05$

Данные из таблицы подчеркивают, что при использовании рациона без фосфатных компонентов для кур-несушек, интенсивность работы амилазы в сыворотке крови во второй опытной группе уменьшается на 21,8% по сравнению с первой контрольной группой. В группах, где вводится фитаза, эта интенсивность растет и возвращается к базовому уровню. Учитывая падение концентрации глюкозы в крови на 42,6% ( $p < 0,05$ ) во второй опытной группе, следует заключить, что дефицит фосфора в корме оказывает влияние на

углеводный обмен. Замедление этого обмена у кур связано с активацией процессов переработки белков, что подтверждается ростом мочевой кислоты — продукта завершения белкового метаболизма, уровень которой выходит за норму во второй опытной группе, без добавления фосфатов. Кроме того, общий белок в сыворотке крови повышается на 12,9% ( $p < 0,05$ ) во второй опытной группе относительно первой контрольной, что сигнализирует о стимуляции метаболизма через переваривание белков, как видно из тенденции к повышению активности трипсина в крови. Концентрация фосфора в сыворотке крови возрастает на 27,8% ( $p < 0,05$ ) в четвертой опытной группе. В то же время, уровень кальция во второй опытной группе демонстрирует снижение на 13,3% по сравнению с первой контрольной, но после включения фитазы в рацион он нормализуется. В итоге, добавление фитазы в дозе 1200 FTU/kg в корм способствует эффективному высвобождению фитатного фосфора из растительных ингредиентов, что полностью удовлетворяет физиологические нужды птицы в фосфоре даже без фосфатных добавок.

**Заключение.** В содержимом двенадцатиперстной кишки активность щелочной фосфатазы снижается в опытной группе на 23,1% через 60 минут и на 29,0% через 120 минут постпрандиального периода по сравнению с контрольной группой. Это, по всей вероятности, связано с высвобождением фитазой (1200 FTU/kg) фосфатов из растительного сырья корма и снижением физиологической потребности птицы в фосфоре на одну треть. Содержание кальция также имеет тенденцию к снижению в опытной группе: на 20,2% через 60 минут и на 21,7% через 120 минут после кормления, в то время как уровень фосфора в этой группе увеличивается на 30%. При кормлении кур без добавления фосфатов потребление фосфора у несушек уменьшается на 20,6%, а его выделение из организма - на 44,5% по сравнению с контрольной группой. При добавлении фитазы в дозах 900 и 1200 FTU/kg усвоение фосфора возрастает до физиологической нормы. Кроме того, введение в рацион добавки фитазы «Акстра Фай Голд» приводит к увеличению активности трипсина в сыворотке крови на 75,7% и повышению содержания фосфора на 52,8%, что



подтверждает эффективность фитазы в гидролизе фитатного комплекса и высвобождении фосфора из фитатов.

### **Список литературы**

1. Selle, P. H., & Ravindran, V. (2007). Phytate degradation and its implications for protein and energy digestibility in poultry. *World's Poultry Science Journal*, 63(3), 442-453. <https://doi.org/10.1017/S0043933907000951>
2. Angel, R., Koelkebeck, K. W., & McDaniel, C. D. (2011). The role of phytase in enhancing the value of feed ingredients: A review. *The Journal of Applied Poultry Research*, 20(1), 251-264. <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00345>
3. Saki, A. A., Sadeghi, A. A., & Ghorbani, G. R. (2016). The effects of phytase on performance, egg quality, and some blood parameters of laying hens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(6), 1178-1187. <https://doi.org/10.1111/jpn.12470>
4. Jung, Y. H., Kim, D. H., & Hwang, H. S. (2020). Environmental impact of phytase supplementation in poultry feed: Impacts on phosphorus excretion and bioavailability. *Journal of Environmental Management*, 258, 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109835>
5. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях: ETS № 123, Страсбург, 18 марта 1986 г. – Страсбург: Совет Европы, 1986. – 52 с. – URL: <https://www.coe.int/ru/web/conventions/full-list/-/conventions/treaty/123>
6. Фисинин В.И., Вертипрахов В.Г., Грозина А.А., Свиткин В.С. Методы изучения кишечного пищеварения у сельскохозяйственной птицы // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 25-27. EDN ZWIFAJ

### **EFFICIENCY OF PHYTASE 'AXTRA PHY GOLD' IN MANAGING PHOSPHORUS METABOLISM IN LAYING HENS**

S.I. Polina, V.G. Vertiprakhov e-mail: polina\_sveta.93@bk.ru

**Abstract:** *This article explores the effects of the phytase supplement 'Astra Phy Gold' on phosphorus metabolism and general metabolic processes in laying hens. The study aimed to assess the enzyme's effectiveness when poultry is fed diets lacking phosphate additives. Experimental groups of hens receiving phytase at doses of 900 and 1200 FTU/kg showed a notable enhancement in phosphorus absorption, evidenced by a 75.7% increase in trypsin activity and a 52.8% rise in phosphorus levels in blood serum. The findings indicate that activating phosphorus metabolism was accompanied by a decrease in alkaline phosphatase activity during the postprandial period and an elevation in total protein in blood serum. Positive shifts were also observed in carbohydrate metabolism and potassium levels, highlighting the multifaceted role of phytase in the hens' metabolic functions. This research underscores the value of incorporating phytase into poultry feed to optimize nutrient uptake and boost productivity. The outcomes hold potential for practical applications in veterinary medicine and animal husbandry.*

**Keywords:** *Laying hens, phytase, fistulous techniques*

УДК 631.15

## **ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ СВИНОВОДСТВА**

О.Е. Самсонова

Мичуринский государственный аграрный университет, Институт  
фундаментальных и прикладных агробиотехнологий имени И.В. Мичурина,  
доцент, к.с.-х.н., Россия, Мичуринск, e-mail: kruti-olga@yandex.ru

**Аннотация.** *В условиях всемирной интеграции экономик подъем свиноводческих хозяйств напрямую зависит от создания и поддержания высокой продуктивности животных. Основным препятствием для прогресса является недостаток современных технологических решений на большинстве ферм и слабое использование инноваций для повышения рентабельности.*

*Существует острая необходимость в инновационных изменениях, направленных на улучшение экономических показателей свиноводческих хозяйств, насыщение внутреннего рынка местной продукцией и удовлетворение общественного спроса на доступную свинину. Инновационное развитие свиноводства гарантирует конкурентоспособность отрасли, укрепляет продовольственную безопасность страны и помогает решать экологические проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды и бесконтрольным использованием добавок в производстве свинины. Вышеуказанные проблемы подчеркивают важность разработки стратегий инновационного развития свиноводческих предприятий и повышения их операционной эффективности.*

**Ключевые слова:** свиноводство, инновации, производство, развитие, совершенствование.

**Актуальность.** Современная глобальная экономика демонстрирует стремительный рост, обусловленный активным распространением и внедрением инноваций в различные сферы хозяйственной деятельности.

Сегодня все больше сельскохозяйственных предприятий акцентируют внимание на инновациях как на инструменте повышения эффективности своей работы на рынке, укрепления конкурентоспособности и расширения бизнеса на перспективных направлениях. В условиях глобализации экономики изучение инновационного развития агропромышленных предприятий можно проводить посредством анализа внутренней и внешней среды их деятельности, а также внедрения инноваций в качестве механизма достижения стратегического уровня, характеризующегося высокой эффективностью, как на внутреннем, так и на международном рынке сельскохозяйственной продукции [1].

Ввиду наблюдаемого повсеместного увеличения масштабов индустриального развития свиноводства, **целью** работы стало сопоставление теоретических основ передовых методов, применяемых в данной сфере.

**Материал и методы исследования.** В качестве основы для данной статьи послужил сравнительный анализ статистических сведений, научных

работ исследователей, посвященных теоретическим аспектам инновационных подходов в свиноводстве.

**Результаты исследований.** Внедрение передовых разработок в аграрном секторе, в частности, в свиноводстве, сталкивается с проблемой недостаточного и нестабильного финансирования исследовательских проектов в нашей стране. Развитие этой отрасли требует использования современных технологий, прогрессивного оборудования и эффективных экономических подходов к управлению. Этот прогресс возможен только при условии активного внедрения инноваций в производство, направленных на получение прибыли за счет повышения эффективности [2].

В развитых странах, начиная с 90-х годов, акцент сместился с интенсификации на инновационные процессы, рассматриваемые как ключевой фактор экономического роста. Отечественные эксперты подчеркивают, что успешное развитие свиноводства зависит от покупательной способности населения, объемов импорта, наличия современной технической и кормовой базы, а также качества генетического материала животных [3].

Государственная политика, направленная на регулирование и поддержку предприятий отрасли, играет важную роль в создании благоприятного инвестиционного климата. Инвестиции, основанные на научно обоснованных принципах, способствуют технологической модернизации аграрного сектора и переходу к инновационной модели производства. Аналогичную точку зрения разделяют и другие исследователи, которые считают, что государственная поддержка инноваций, создание условий для конкуренции на внутреннем рынке и стимулирование экспортной деятельности являются важными факторами развития аграрного сектора [4].

Инновационная деятельность в свиноводстве приносит как прямой экономический эффект (снижение затрат, повышение производительности и рентабельности), так и технический (улучшение технологий и качества продукции, повышение конкурентоспособности) [5]. Важен и экологический аспект, связанный с утилизацией отходов и использованием альтернативных

источников энергии. В некоторых странах государство компенсирует часть затрат на экологические проекты. Социальный эффект проявляется в увеличении потребления свинины, создании рабочих мест и увеличении социальных выплат.

В свиноводстве Соединенных Штатов и стран Европы отмечается высокий производственный потенциал и эффективная селекционная работа, основанная на технологической модели «трехступенчатой пирамиды». Данная система предполагает пирамидальный подход к ведению свиноводства, в основе которого лежит санитарный контроль. Ведущими компаниями в сфере селекции свиней в Европе являются NUCLEUS (Франция) и DanBred (Дания).

По словам генерального директора Национального союза свиноводов Юрия Ковалева, озвученным на форуме «Агрос-2025» в Москве, потребуется построить 500–600 тыс. новых мощностей по производству товарных свиней, чтобы обеспечить прирост отрасли на 500–600 тыс. тонн к 2030 году.

При этом реализация новых инвестиционных проектов в сфере товарного производства свиней запланирована на период 2025–2027 годов и потребует около 160–170 млрд. рублей дополнительных вложений, в том числе в виде льготных инвестиционных кредитов сроком до 15 лет.

Компания «DanBred», мировой лидер в области генетики свиней, благодаря отбору наиболее продуктивных линий пород ландрас, крупная белая и дюрок, добилась выдающихся результатов, подтвержденных практическим опытом. Использование данных генотипов свиней в датских хозяйствах позволило достичь высоких производственных показателей.

В нашей стране за последние годы разработаны специализированные программы для автоматизации отрасли свиноводства. Один из таких проектов – разработка программно-аппаратного комплекса «Свинофон». Заказчиком выступает «Башкирская мясная компания», разработчиком - компания «Смарт Технологии Инвест». Продукт должен быть готов в 2025 году и стать универсальной системой управления полным циклом производства на свинокомплексах.

Основа проекта – цифровая платформа «Пульс.ЦСС» предназначена для управления животноводческими фермами, позволяющая сотрудникам отслеживать и анализировать производственные показатели в реальном времени.

Кроме того, существует программа PorkMax™ для моделирования эффективности свиноводческого предприятия и расчёта рационов. Она позволяет оценить влияние стоимости кормов и цен на конечную прибыль, а также выбрать оптимальную стратегию кормления.

Внедрение технологий является ключевым и мощным фактором, позволяющим компании добиться лидерства и удержать позиции в условиях жесткой конкуренции [6]. Наиболее благоприятные перспективы развития свиноводческих хозяйств связаны с оптимальным использованием сильных сторон внутри компании и благоприятных внешних факторов. Инновационная стратегия развития в свиноводстве нацелена на стимуляцию инноваций на предприятиях, производящих свинину, и повышение эффективности их работы на рынке с учетом аспектов безопасности.

Согласно эволюционному подходу, развитие любой отрасли экономики стимулируется активным внедрением новшеств и инновационных преобразований. Новые технологии и продукты изменяют структуру потребительского спроса, формируют новые потребности и оказывают влияние на процессы ценообразования. Практические аспекты инновационных технологий, охватывающие широкий спектр вопросов (финансирование, проектирование, строительство, разрешительные процедуры, оборудование, условия содержания, селекция, кормление свиней и т.д.), требуют детального изучения.

**Заключение.** При оценке теоретических аспектов применения инновационных технологий в свиноводстве, следует подчеркнуть, что комплексный подход к вопросам развития и внедрения инноваций на предприятиях отрасли служит методологической основой анализа. Это позволяет выявить влияние различных факторов на результаты хозяйственной

деятельности, а также определить конкурентоспособность предприятий на рынке. Исследование теоретических и практических сторон развития показывает, что инновационная деятельность является ключом к повышению эффективности компаний в свиноводстве.

Предприятия свиноводства обладают потенциалом повышения экономической эффективности в пределах 15-67% за счет модернизации, эффективного использования материально-технической базы и оптимального распределения ресурсов [7]. Важным фактором для своевременного внедрения инноваций является наличие единого информационного пространства.

### **Список литературы**

1. Калинин Е.Е., Аннаева Г.А. Направления инвестиций для повышения конкурентоспособности предприятий // Экономика и управление народным хозяйством: генезис, современное состояние и перспективы развития: материалы IX Международной научно-практической конференции, приуроченной ко Дню экономиста, Воронеж, 28 ноября 2024 года. Воронеж: Воронежский экономико-правовой институт. 2024. С. 409-413.

2. Герасимова Н.А., Шевцова Н.М. Система управления инновационным потенциалом предприятия // Актуальные проблемы развития экономических, финансовых и кредитных систем: сборник материалов XII Международной научно-практической конференции. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет. 2024. С. 280-284.

3. Самсонова О.Е., Бабушкин В.А. Индексная оценка конституциональных типов свиней // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2012. № 1-1. С. 143-146.

4. Инструменты повышения эффективности ведения органического сельского хозяйства: Аналитический обзор / Ю. В. Бочкарева [и др.]. Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2024. 92 с.

5. Кузнецова Е.Д., Головин М.Д. Опыт зарубежных стран в развитии цифровизации сельского хозяйства России // АПК России: образование, наука, производство: сборник статей IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Саратов, 19–20 июня 2025 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. 2025. С. 119-123.

6. Четвертаков И.М., Четвертаков В.П., Фомина Н.Н. Тенденции и перспективы развития различных форм хозяйствования в аграрном секторе России // Регион: системы, экономика, управление. 2025. № 2(69). С. 73-81.

7. Влияние методов разведения на воспроизводительные качества свиноматок / А.Н. Негреева [и др.] // Наука и Образование. 2019. Т. 2. № 1. С. 30.

## INNOVATIVE DIRECTIONS OF PIG PRODUCTION

O. E. Samsonova

Michurinsk State Agrarian University, I.V. Michurin Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnology, Associate Professor, PhD in Agricultural Sciences, Russia, Michurinsk, e-mail: kruti-olga@yandex.ru

**Abstract.** *In the context of global economic integration, the growth of pig farms directly depends on achieving and maintaining high animal productivity. The main obstacle to progress is the lack of modern technological solutions on most farms and the weak use of innovation to increase profitability. There is an urgent need for innovative changes aimed at improving the economic performance of pig farms, saturating the domestic market with local products, and satisfying public demand for affordable pork. Innovative development of pig farming guarantees the industry's competitiveness, strengthens the country's food security, and helps address environmental issues related to pollution and the uncontrolled use of additives in pork production. These issues highlight the importance of developing innovative development strategies for pig farms and improving their operational efficiency.*

**Keywords:** *pig farming, innovation, production, development, improvement.*



## ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В РАЦИОНЕ БЕЛОГО ЛЮПИНА

Н.А. Сергееенкова

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА  
имени К.А. Тимирязева, Москва

***Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментального исследования, проведённого в 2025 году на цыплятах-бройлерах кросса «Смена-9» в условиях зоостанции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Целью работы было оценить влияние частичной (50 %) и полной (100 %) замены соевого шрота на дроблёное зерно белого люпина сорта «Тимирязевский» в рационе бройлеров на морфо-биохимические показатели крови и функциональное состояние пищеварительной системы. В исследовании участвовали три группы птиц по 5 голов: контрольная — с базовым рационом, содержащим 15 % соевого шрота, и две опытные — с заменой соевого шрота на люпин в указанных пропорциях. Установлено, что включение люпина в рацион приводит к достоверному снижению активности трипсина (на 20,4–21,2 %) и амилазы, а также к уменьшению концентрации мочевой кислоты (на 31–48 %) и триглицеридов (до 53 %), что свидетельствует о снижении биодоступности белка и замедлении метаболических процессов, вероятно, вследствие наличия антипитательных факторов (в частности, ингибиторов трипсина) в зерне люпина. При этом гематологические параметры (эритроциты, гемоглобин, лейкоциты, лимфоциты) оставались в пределах физиологической нормы, подтверждая отсутствие негативного влияния на кроветворение и иммунный статус. Полученные данные позволяют рекомендовать использование белого люпина в кормлении бройлеров в объёме до 50 % от уровня соевого шрота без технологической обработки, тогда как при полной замене необходима предварительная детоксикация зерна (например, экструзия или ферментативная обработка) для нейтрализации антипитательных веществ.*

**Ключевые слова:** *цыплята-бройлеры, кровь, биохимия, белый люпин, Смена-9.*

**Актуальность.** В условиях растущей зависимости птицеводства от импортных источников белка, в первую очередь соевого шрота, поиск и внедрение альтернативных, локально производимых кормовых компонентов приобретает особую значимость [1,2]. Одним из перспективных отечественных белковых ресурсов является зерно белого люпина, отличающееся высоким содержанием протеина и благоприятным аминокислотным профилем. Однако широкое использование люпина в комбикормах сдерживается наличием в его составе антипитательных факторов, таких как ингибиторы протеаз, которые могут снижать пищеварительную активность ферментов и усвояемость питательных веществ. В связи с этим особенно важно оценить не только продуктивные, но и морфо-биохимические показатели организма птицы, отражающие метаболическое состояние и функциональную адаптацию пищеварительной системы к новым кормовым ингредиентам [3,4].

Проведённое исследование актуально с точки зрения разработки научно обоснованных рекомендаций по включению белого люпина в рационы бройлеров без ущерба для их физиологического статуса и продуктивности. Полученные данные о влиянии частичной и полной замены соевого шрота на активность пищеварительных ферментов, биохимический состав крови и гематологические параметры позволяют определить безопасный уровень использования люпина в кормлении, а также обосновать необходимость технологической обработки при его полной замене. Это способствует повышению продовольственной безопасности, снижению себестоимости кормов и развитию устойчивого отечественного птицеводства.

**Материал и методы исследования.** Экспериментальная работа была проведена в 2025 году на цыплятах-бройлерах кросса Смена-9 на территории зоостанции на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Птица содержалась в клеточных батареях, оборудованных ниппельными поилками с каплеуловителями, условия содержания полностью удовлетворяли

потребностям данного кросса. В возрасте 15 суток цыплятам-бройлерам были проведены хирургические операции с целью вживления дуоденальной фистулы в двенадцатиперстную кишку в месте впадения в нее протоков поджелудочной железы.

Все проводимые эксперименты и применяемые процедуры были рассмотрены и одобрены комиссией по биоэтике РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева протокол №53 от 20 мая 2025 года, комиссия постановила, что исследования будут проведены в соответствии с требованиями регламентирующих документов, в частности Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных и других научных целях (ETS №123, Страсбург, 1986) [5].

Цыплят - бройлеров разделяли на три группы по 5 голов в каждой: группа контроль получала основной рацион (ОР - %) имеющий в своем составе как основной белковый компонент рациона соевый шрот (15%) в структуре рациона; опытная группа 1 - получала основной рацион, в котором 50% соевого шрота заменяли дробленным зерном белого люпина сорта «Тимирязевский»; опытная группа 2 - получала основной рацион, в котором основной белковый компонент соевый шрот был полностью заменен на дробленое зерно белого люпина сорта «Тимирязевский» (табл.1).

**Таблица 1. Схема опыта на цыплятах-бройлерах.**

Группа		
контрольная	1 опытная	2 опытная
Основной рацион, содержащий соевый шрот (15%)	Люпин белый (50 %) замещение соевого шрота	Люпин белый (100%) замещение соевого шрота

Для исследования морфо-биохимических показателей забор крови проводился в утренние часы, натошак из подкрыльцовой вены, птицу фиксировали, расправляли крыло, область взятия крови обрабатывали 70 % этиловым спиртом, для забора крови использовали стерильную иглу (23–25G) и вакуумную пробирку без антикоагулянта. Для гематологии вакуумную пробирку с антикоагулянтом (ЭДТА), иглу вводили под небольшим углом прямо

в вену. После появления крови забирали 1,0 мл крови, что соответствует не более 1 % массы тела и считается безопасным. После извлечения иглы на место прокола накладывали лёгкое давление ватным тампоном до остановки кровотечения, после чего птицу возвращают в клетку. После забора пробирку оставляют в вертикальном положении при комнатной температуре на 30–60 минут, чтобы кровь полностью свернулась. Затем образец центрифугируют, отделяя прозрачную сыворотку от кровавого сгустка. Далее сыворотку сливали и центрифугировали 20 мин. при 2000-3000 об/мин. В сыворотке крови определяли: активность трипсина, активность амилазы, щелочную фосфатазу, глюкозу, общий белок, мочевую кислоту, триглицериды, холестерин, кальций, фосфор. Исследования выполнялись на автоматизированном анализаторе BioChem FC-120 (HTI Technology, США) с применением оригинальных реагентов производителя.

Кровь для гематологического исследования забирали в утренние часы натошак из подкрыльцовой вены. Область взятия крови обрабатывали 70 % этиловым спиртом. Для забора крови использовали стерильную иглу (23-25G) и вакуумную пробирку с антикоагулянтом (ЭДТА), иглу вводили под небольшим углом прямо в вену. После появления крови забирали 1,0 мл крови, что соответствует не более 1 % массы тела и считается безопасным. После извлечения иглы на место прокола накладывали лёгкое давление ватным тампоном до остановки кровотечения, после чего птицу возвращают в клетку. Общий анализ крови выполняли на автоматическом биохимическом анализаторе BioChem FC-120 (HTI Technology, США), с использованием реактивов HTI Technology. Статистическую обработку морфометрических данных проводили с применением пакета Excel.

**Результаты и их обсуждение.** Полученные результаты. В сыворотке крови у птицы в обеих опытных группах активность трипсина понижалась по сравнению с группой контроля на 20,4 % в первой опытной группе и на 21,2 % во второй опытной группе (табл.2). По существующим данным, подобное изменение активности энзима свидетельствует об уменьшении метаболизма при

100% замещении соевого шрота на белый люпин в рационе цыплят-бройлеров. Это может быть вызвано наличием ингибиторов трипсина в составе белого люпина [6].

**Таблица 2.** Результаты биохимических исследований крови у цыплят бройлеров

Показатели	Контроль	I опытная	II опытная
Активность трипсина, ед/	77,69±6,9	61,85±7,2 <sup>a</sup>	61,21±9,5 <sup>a</sup>
Активность амилазы, ед/л	602,9±18,4	539,33±21,5	513,67±231,2
Щелочная фосфатаза, ед/л	919,89±32,5	917,17±69,4	950,44±48,5 <sup>b</sup>
Глюкоза, мкмоль/л	10,87±0,4	9,47±1,2	9,95±1,5
Общий белок, г/л	34,11±0,65	34,92±1,78	33,5±2,51
Мочевая кислота, мкмоль/л	210,68±21,4	144,34±18,3	108,12±12,5 <sup>a</sup>
Триглицериды, ммоль/л	0,67±0,06	0,58±0,04	0,31±0,05 <sup>a</sup>
Холестерин, ммоль/л	4,66±0,19	4±0,09	4,44±0,12
Кальций, ммоль/л	2,08±0,24	2,3±0,35	2,05±0,41
Фосфор, ммоль/л	2,75±0,18	2,19±0,07	1,98±0,09

Примечание: а – различия с контрольной группой достоверно при  $p < 0,05$ ; b – различия с 1-й опытной группой достоверно при  $p < 0,05$ .

Отмечается снижение активности амилазы в сыворотке крови у птиц второй и третьей опытных групп на 10% и 15% соответственно относительно контрольных показателей. Полученная динамика может свидетельствовать о замедлении метаболических процессов у цыплят, потреблявших корма с включением люпина.

Активность щелочной фосфатазы во второй опытной группе увеличилась на 3% относительно контрольной группы, что свидетельствует об интенсивном росте и становлении организма. Колебания уровня глюкозы в сыворотке крови в опытных группах относительно контрольной группы не значительны и находятся в пределах физиологической нормы. Это свидетельствует о том, что, несмотря на изменения в активности пищеварительных ферментов, углеводный обмен цыплят поддерживается на должном уровне, и люпин напрямую не вызывает значительных нарушений гликемии. Концентрация общего белка в сыворотке крови цыплят-бройлеров существенно не изменялась во всех трех группах, этот показатель отражает способность организма поддерживать

гомеостаз, в частности такие параметры, как осмотическое и онкотическое давление и состав крови. Отсутствие резких изменений говорит о том, что организм цыплят-бройлеров справляется с поддержанием общего уровня белка. Концентрация мочевой кислоты в сыворотке крови птиц первой и второй опытных групп по сравнению с контрольной группой снизилась на 31 и 48 %, такое резкое снижение может являться следствием недоступности белковых компонентов корма. Мочевая кислота конечный продукт метаболизма белков, поэтому понижение ее концентрации говорит об уменьшении белкового обмена. Наблюдается снижение триглицеридов в крови первой и второй опытных групп по отношению контрольной на 13 и 53 % соответственно, обусловлено снижением уровня жира в рационе. Значение показателей холестерина и кальция во всех трех группах колебались не значительно. Содержание фосфора связано с недостатком энергетических запасов в организме в результате полученных данных концентрация фосфора во второй опытной группе снизилась относительно контрольной на 28%, что является косвенным свидетельством энергетического дефицита, и может быть вызван общим нарушением пищеварения и усвоения питательных веществ из-за присутствия ингибиторов в белом люпине.

Гематологические показатели у цыплят-бройлеров имеют важное диагностическое значение, поскольку зависят как от патологических, так и от физиологических факторов (табл. 3).

**Таблица 3. Морфологический состав крови цыплят-бройлеров**

Показатель	Группы		
	Контроль (соевый шрот)	Опыт 1 (50% люпин белый)	Опыт 2 (100% люпин белый)
Эритроциты, $\times 10^{12}/л$	2,34 $\pm$ 0,06	2,49 $\pm$ 0,07	2,25 $\pm$ 0,07
Гематокрит, %	30,64 $\pm$ 0,90	31,4 $\pm$ 0,85	29,2 $\pm$ 0,92
Гемоглобин, г/л	99,08 $\pm$ 2,68	100,25 $\pm$ 2,20	99,42 $\pm$ 3,15
Лейкоциты, $\times 10^9/л$	38,04 $\pm$ 5,32	37,52 $\pm$ 3,95	38,85 $\pm$ 5,50
Лимфоциты, %	56,7 $\pm$ 8,95	52,7 $\pm$ 10,5	49,7 $\pm$ 8,15

Анализ гематологических показателей бройлеров, получавших рационы с различной степенью замены соевого шрота на белый люпин, показал, что такая

замена не оказывает негативного влияния на состояние кроветворной системы птицы. Уровень эритроцитов, гемоглобина и гематокрита во всех группах находился в пределах физиологической нормы: при частичной замене (50 % люпин) отмечалась незначительная тенденция к повышению этих показателей, а при полной замене (100 % люпин) — к лёгкому снижению, однако разница была несущественной и клинически не значимой. Общее количество лейкоцитов оставалось стабильным и варьировалось в пределах  $37,5\text{--}38,9 \times 10^9/\text{л}$ , что соответствует нормальным значениям для бройлеров и не указывает на наличие воспалительных или стрессовых реакций. Относительное содержание лимфоцитов несколько снижалось по мере увеличения доли люпина в рационе (от 56,7 % в контроле до 49,7 % при 100 % замене), но оставалось в пределах допустимых физиологических колебаний. В целом, все исследованные гематологические параметры свидетельствуют о хорошем здоровье птицы и подтверждают, что белый люпин в концентрациях до 100 % от уровня соевого шрота может безопасно использоваться в кормлении бройлеров без риска нарушения кроветворения или иммунного статуса.

Биохимический анализ крови подтвердил изменение белкового обмена при использовании люпина: концентрация конечного продукта метаболизма белков — мочевой кислоты — снизилась на 31% и 48% в опытных группах, что указывает на снижение биодоступности протеина. Полученные данные обосновывают вывод о необходимости предварительной технологической обработки зерна белого люпина (например, экструзии или ферментной детоксикации) для нейтрализации антипитательных факторов перед его включением в корм, особенно при высоких уровнях замещения. Частичное же включение люпина (до 50%) признано более физиологически оправданным.

**Благодарность:** *Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ № 25-26-00133 «Физиологическая оценка белковых добавок для определения норм потребностей и разработки рационов цыплят-бройлеров с использованием фистульных технологий».*

## Список литературы

1. Кондобарова В.Н., Кондобаров Н.В., Сорокина Н.Н. Использование люпина белого в кормлении сельскохозяйственной птицы // Достижения и перспективы в сфере производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы национальной научно-практической конференции (10 декабря 2020 г.), Майский, 10 декабря 2020 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2020. – С. 131-133.
2. Цыгуткин А. С. Содержание питательных веществ в зерне белого люпина // Агрохимический вестник. – 2024. – № 4. – С. 55-60. – DOI 10.24412/1029-2551-2024-4-011.
3. Фисинин В.И. [и др.] Панкреатическая секреция и усвоение аминокислот в кишечнике кур при разных источниках белка в рационе / // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 2. С. 374–381. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.2.374rus.
4. Артюхов А.И., Сорокин А.Е. Люпин в кормлении птицы // Птицеводство. – 2016. – № 11. – С. 2-6.
5. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях ETS № 123) (Страсбург 18.03.1986). URL 67 [http://conventions.ru/view\\_base.php?id=19432](http://conventions.ru/view_base.php?id=19432) (дата обращения: 23.02.2024).
6. Вертипрахов В. Г., Сергееenkova Н. А., Беззубенко Д. Д., Полина С. И. Новый способ определения вкусовых и питательных свойств белого люпина в кормах цыплят-бройлеров // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 4(205). – С. 61-68. – DOI 10.36718/1819-4036-2024-4-61-68

## **HEMATOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF CHICKEN-BROILER BLOOD WHEN WHITE LUPINE IS USED IN THE DIET**

N.A. Sergeenkova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
Moscow, Russia



**Abstract.** *The article presents the results of an experimental study conducted in 2025 on broiler chickens of the Smena-9 cross at the zoological station of the Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. The aim of the study was to evaluate the effect of partial (50%) and complete (100%) replacement of soybean meal with crushed white lupine grain of the Timiryazev variety in the broiler diet on the morpho-biochemical parameters of blood and the functional state of the digestive system. The study involved three groups of 5 birds each: a control group with a basic diet containing 15% soybean meal, and two experimental groups with soybean meal replaced by lupine in the specified proportions. It has been established that the inclusion of lupine in the diet leads to a significant decrease in the activity of trypsin (by 20.4–21.2%) and amylase, as well as to a decrease in the concentration of uric acid (by 31–48%) and triglycerides (up to 53%), which indicates a decrease in the bioavailability of protein and a slowdown in metabolic processes, probably due to the presence of antinutrient factors. At the same time, hematological parameters (erythrocytes, hemoglobin, leukocytes, and lymphocytes) remained within the physiological norm, confirming that there was no negative impact on hematopoiesis and immune status. Based on these findings, it is recommended to use white lupine in the feeding of broilers up to 50% of the level of soybean meal without technological processing, while complete replacement requires pre-treatment of the grain (such as extrusion or enzymatic processing) to neutralize the antinutrients.*

**Keywords:** *broiler chickens, blood, biochemistry, white lupine, Smena-9.*

УДК 636.01

## **МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ И МИКРОБИОМ: ВКЛАД В РЕАЛИЗАЦИЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОДУКТИВНЫХ ЖИВОТНЫХ**

Е.А. Сизова, доктор биологических наук, доцент

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и  
агротехнологий Российской академии наук», Оренбург, Sizova.L78@yandex.ru

**Аннотация:** Представлен анализ исследований в области взаимосвязи минерального обмена со структурой и функционированием микробиоты, а также оценка влияния биогеохимических особенностей регионов на содержание минеральных веществ в организме сельскохозяйственных животных. Результаты подтверждают необходимость применения методов профилактики и направленной коррекции минерального питания с учетом комплекса факторов, как пути повышения продуктивности животных.

**Ключевые слова:** продуктивность, минеральное питание, микробиом

**Актуальность.** Максимальная реализация генетического потенциала и сохранение продуктивного долголетия сельскохозяйственных животных является ключевой задачей для зоотехнии в XXI веке. В этом контексте большое значение имеет питание животных. Многочисленные исследования показали, что только полноценные минеральные добавки в рационе животных обладают высокой биологической и экономической эффективностью. Действуя как катализаторы метаболических процессов в организме, биоактивные вещества способствуют снижению затрат энергии на производство продукции и, как следствие, повышают эффективность использования кормов [1]. Оптимальное содержание минеральных веществ в рационе – важнейшее требование полноценного питания, обеспечивающее высокую продуктивность и здоровье животных.

Несмотря на многолетнюю историю изучения и существенный багаж знаний о потребности животных в химических элементах, проблема нормирования минерального питания по-прежнему актуальна. По поисковому запросу с ключевыми словами «mineral elements, chickens» и «mineral elements, farm animal», на платформе PubMed за последние 10 лет число работ по проблеме увеличилось более чем в 3 раза и превысило 350 тысяч.

Сельскохозяйственным животным требуется не менее 17 различных минеральных элементов в рационе. В животноводстве рационы нормируются по 8 микроэлементам, включая Co, Cu, I, Fe, Mn, Mo, Se и Zn (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016). Однако список был

расширен на шестой (1984) и седьмой (1996) сессиях National Research Council (NRC) за счёт включения Ni и Cr, но без установленных требований. Далее содержание не менялось (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016). В настоящее время в России для животноводства существуют рекомендации по организации кормления высокопродуктивных животных, которые включают нормирование в рационах 12 элементов (кальций, фосфор, магний, калий, натрий, сера, железо, медь, цинк, марганец, йод, кобальт).

В птицеводстве, за 25 лет, с 1985 по 2010 год, нормы внесения минеральных элементов также увеличились. Изменения нормирования микроэлементов в комбикормах коснулись Fe, Mn, Zn, Se. Основные компоненты комбикормов для птицы дефицитны по марганцу, цинку и йоду и менее дефицитны по меди, железу, кобальту. С целью нормирования сбалансированных рационов, в частности минерального питания, была разработана и внедрена система гарантированных добавок без учёта содержания их в кормах [2].

Существующие нормы химических элементов никак не принимают во внимание их депо в организме и интенсивность обменных процессов, а также возможность оказывать разностороннее влияние на активность ферментов, антибиотиков и пробиотиков. Следовательно, потенциал химических элементов, как компонентов кормовых добавок, реализуется не полностью. Это связано с тем, что микроэлементы различных форм отличаются прочностью связей в составе органических и неорганических соединений и усвояемостью их в организме. Многие минеральные элементы, получаемые с кормом, усваиваются в организме животных и птицы лишь на 25-30%, что с учетом антагонизма между элементами, приводит к дефициту одних и избытку других, в том числе токсичных [3].

Так, проведенные нами исследования по изучению особенностей минерального обмена в организме сельскохозяйственных животных различной продуктивности наглядно демонстрируют взаимосвязь последней с концентрацией токсичных и эссенциальных элементов в волосяном покрове.

Еще одним фактором, определяющим потребность в микроэлементах и не учитываемым при нормировании рационов по минеральным компонентам, являются биогеохимические особенности территорий.

Любая наземная биота находится в прямой или косвенной зависимости от минеральной и органической составляющих почвы, а те, в свою очередь, от зональных климатических, геоморфологических и других природных факторов [4]. Биогеохимия окружающей среды оказывает значительное влияние на элементный состав организма животного и ведет к формированию региональных особенностей элементного гомеостаза. Хорошо известно, что концентрация токсических элементов в мясе напрямую связана с содержанием таковых в кормах. Кроме того, подобное обстоятельство может нарушить гомеостаз и влиять на абсорбцию других эссенциальных элементов, например, давно замечена отрицательная взаимосвязь в парах Cd-Cu и Cd-Zn. Следовательно, потребность в минеральной составляющей рациона, по меди и цинку в областях с высоким содержанием кадмия в почве должна быть скорректирована.

Проведенные нами исследования по оценке влияния биогеохимических особенностей регионов на содержание минеральных веществ в организме сельскохозяйственных животных также подтверждают вышеизложенные факты. В частности, на примере коров молочного направления продуктивности в хозяйствах Ленинградской, Вологодской (голштинская порода); Оренбургской (айрширская порода); областей и Республики Саха (Якутия) (холмогорская порода) установлены значимые отличия в элементном составе волос. В Вологодской области относительно Оренбуржья наблюдались более низкие концентрации Ca, Mg и более высокие K, Na и P. Фиксировалось снижение практически всех эссенциальных и условно эссенциальных элементов, исключение составили I и Se. Суммы токсичных элементов были также снижены. Аналогичная тенденция наблюдалась у животных Ленинградской области, при сравнении с животными Оренбургской области. При сравнении животных из Вологодской, Ленинградской и Оренбургской

областей с животными из Якутии отмечено, что волос якутских коров характеризовался пониженной концентрацией практически всех эссенциальных и условно-эссенциальных элементов, за исключением Se и I, содержание которых было значительно ниже в образцах от коров Оренбургской. Важным признаком элементного статуса животных Оренбургской области, относительно Якутии, Вологодской и Ленинградской областей является высокое содержание в волосе токсичных элементов, и недостаток Se и I (рис. 1).



Рис. 1. Изменение концентрации некоторых химических элементов в волосе коров различных регионов РФ

Таким образом, складывается ситуация, когда необходима более эффективная адаптация минеральной добавки к реальным физиологическим потребностям животных с учетом биогеохимических особенностей территорий.

Не следует здесь забывать и о том, что, хотя поступление необходимых микроэлементов в организм сельскохозяйственных животных обуславливается составом рациона, их усвоение или выведение из организма связано в первую очередь с работой желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и его здоровьем, в частности с функциональной активностью микробиоты, выступающей в роли своеобразного коммутатора и интегративного центра, обеспечивающего переработку поступающих нутриентов и минералов, их распределение и усвоение.

Так, например, согласно литературным источникам, микробиота кишечника является барьером для всасывания ряда элементов путём изменения рН или концентрации метаболитов, участвующих в иммунологических реакциях и энергетических процессах [5]. Предполагается, что микробиота ЖКТ может изменять метаболизм токсичных веществ и выводить их из организма. В то же время для некоторых кишечных бактерий, описано положительное влияние на усвоение эссенциальных микроэлементов [6]. Отмечается, что короткоцепочечные жирные кислоты (в том числе бутират) микробного происхождения способны улучшать функции эпителиального барьера кишечника, оказывая влияние на всасывание веществ. Некоторые виды микроорганизмов могут повышать биодоступность селена и защищать организм хозяина от токсического действия последнего. Показано, что лактобактерии увеличивают эффективность всасывания железа в организме хозяина. Этот процесс объясняется выделением лактобактериями молочной кислоты, и следовательно, повышением кислотности среды кишечника, что способствует интенсификации усвоения железа [7]. В исследованиях на животных, освобожденных от кишечной микробиоты отмечается снижение содержания железа в энтероцитах и снижение концентрации молекул ответственных за транспорт железа в кишечнике [8].

Учитывая двунаправленную взаимосвязь между качественной и количественной структурой микробиома ЖКТ и отдельными минералами, воздействие некоторых металлов может нарушать функции абсорбции и детоксикации через перестройку микробиома. К примеру, известно, что отдельные микроэлементы могут нарушать количественный и качественный состав кишечных комменсалов, модулируя развитие дисбиотических и диспептических расстройств, а также иммунологических и метаболических изменений в других системах организма. В ряде работ отмечается, что микробиота желудочно-кишечного тракта способна влиять на уровень селена в организме хозяина, посредством прямой конкуренции. В исследованиях на сельскохозяйственных животных показано, что дефицит железа негативно

сказывается на доле бактерий семейств, являющихся основными продуцентами протеолитических и целлюлозолитических ферментов в микробиоме кишечника крупного рогатого скота. Чрезмерное поступление железа способствует сокращению полезной микробиоты (*Lactobacillus*) и росту численности патогенных и условно-патогенных микроорганизмов: *Salmonella*, *Shigella* и *Escherichia coli*. Увеличение концентраций никеля и кадмия в организме способно приводить к снижению биоразнообразия в микробиоте кишечника животных. В частности, в наших исследованиях было выявлено, что микробиота толстого кишечника коров с высоким коэффициентом токсической нагрузки, в сравнении с животными с низкой токсической нагрузкой, характеризовался меньшим биоразнообразием, что выражается в более низких значениях индексов Chao1 ( $p=0,046$ ), Simpson ( $p=0,008$ ) и ACE ( $p=0,046$ ).

Была отмечена корреляционная взаимосвязь между высоким уровнем тяжелых металлов (кадмий, свинец, мышьяк, никель, алюминий) в сыворотке крови и представленностью отдельных групп бактерий в микробиоте кишечника крупного рогатого скота молочного направления продуктивности, в том числе – основных продуцентов короткоцепочечных жирных кислот и прокариот, активно осуществляющих разложение целлюлозы и крахмала в кишечнике.

Увеличение содержания ряда токсичных элементов в организме коров способствовало снижению доли бактерий, положительно коррелирующих с жирностью молока.

Микробиота кишечника коров с различным уровнем тяжелых металлов в организме.

Функциональное профилирование микробиоты с использованием Киотской энциклопедии генов и геномов позволило в том числе спрогнозировать метаболические пути бактерий толстого кишечника у животных с различным уровнем токсичных и эссенциальных элементов в организме. Различия в прогнозируемых метаболических путях между группами

были связаны с изменением обилия генов углеводного и липидного обменов, биосинтеза вторичных метаболитов, витаминов и метаболизма аминокислот.

Анализ метаболических путей бактерий микробиоты толстого кишечника с более низким содержанием токсичных и условно-токсичных элементов в сыворотке крови, показал большее обилие генов, ассоциированных с метаболизмом углеводов и аминокислот. Было отмечено более высокое обилие генов для метаболических путей, связанных с метаболизмом крахмала, сахарозы, галактозы (данные метаболические пути связаны с синтезом ключевых ферментов разложения сырой клетчатки), а также  $\beta$ -аланином и биотином, который выполняют множество важных функций в ЖКТ, в том числе регулируют работу иммунных клеток, выступают медиаторами эффективности лекарств и факторами, поддерживающими жизнеспособность бактерий.

Напротив, для животных с высокой токсической нагрузкой в организме в микробиоте толстого кишечника было отмечено большее обилие генов, связанных с повышением иммунных функций и защитой от негативных факторов при сравнении с коровами высокой продуктивности. Так, отмечено большее обилие генов сфинголипидов, которые обладают иммуномодулирующей активностью и оказывают противовоспалительное действие в толстом кишечнике, и таурина, который представляет собой серосодержащую аминокислоту и пищевой антиоксидант, вызывает снижение окислительного стресса в организме, а также оказывает хелатирующий эффект на тяжелые металлы.

Иными словами, исследования в области взаимосвязи минерального обмена со структурой и функционированием микробиоты также должны лежать в основе разработки новых методов профилактики и направленной коррекции различных дефицитов в организме животных, как пути повышения продуктивности последних.

Таким образом, взаимодействие микробиома и минерального питания животных следует расценивать как одну из существенных сторон для



направленного повышения продуктивности за счет максимально достижимой реализации генетического потенциала поголовья.

### Список литературы

1. Алиев М.М., Гулиева К.А. Переваримость питательных веществ комплексного рациона с биоактивными веществами // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – Т 1, № 29. – С. 57-59.
2. Руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы / И.А. Егоров, В.А. Манукян, Т.М. Околелова [и др.] / Москва: Лика, 2018. – 226 с.
3. Голод М. С. Взаимодействие минеральных веществ в организме // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1. – С. 140-142.
4. Ермаков В.В. Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы // Геохимия. – 2015. – № 3. – С. 203-221. – DOI 10.7868/S0016752515030061.
5. Relationship between the true digestibility of dietary calcium and gastrointestinal microorganisms in goats / Y. Liu, A.M. Shah, L. Wang [et all.] // Animals. – 2020. – V.10, No 5. – P. 875. – DOI 10.3390/ani10050875.
6. Effect of probiotic supplement on nutrient digestibility and production traits on broiler chicken / J. Poberezhets, R. Chudak, I. Kupchuk [et all.] // Journal of Agricultural Science. – 2021. – Т. 32, № 2. – P. 296–302. – DOI 10.15159/jas.21.28
7. Грабеклис В.В., Делюкина О.В., Савко С.А. Взаимодействие эссенциальных элементов и кишечной микробиоты: обзор литературы // Микроэлементы в медицине. – 2023. – Т. 24, № 3. – С. 12-21. – DOI 10.19112/2413-6174-2023-24-3-12-21.
8. Успенский Ю. П., Новикова В. П., Барышникова Н. В. Дефицит железа и кишечная микробиота // Медицина: теория и практика. – 2022. – Т. 7, № 2. – С. 3-14. – DOI 10.56871/3792.2022.74.70.001.

## **MINERAL NUTRITION AND MICROBIOME: CONTRIBUTION TO THE REALIZATION OF THE GENETIC POTENTIAL OF PRODUCTIVE ANIMALS**

E.A. Sizova, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor  
FSSI «Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the  
Russian Academy of Sciences», Orenburg, Sizova.L78@yandex.ru

**Summary:** *The article presents an analysis of research in the field of the relationship of mineral metabolism with the structure and functioning of the microbiota, as well as an assessment of the influence of biogeochemical features of regions on the content of minerals in the body of farm animals. The results confirm the need to apply methods of prevention and targeted correction of mineral nutrition, taking into account a set of factors as ways to increase animal productivity.*

**Keywords:** *productivity, mineral nutrition, microbiome*

УДК 636.084.524

## **ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА ПРОБИОТИКА И УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В КОРМЛЕНИИ КУР-НЕСУШЕК НА ПЕРЕВАРИМОСТЬ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЯИЦ**

Д.А. Силин, С. В. Лебедев

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный  
научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии  
наук», Оренбург, dasilin@mail.ru

**Аннотация:** *В приведенных материалах излагаются результаты изучения различных доз пробиотика «Лактобифадол-Форте» совместно с комплексом УДЧ микроэлементов – Си, Мп, Fe, Zn и селенита натрия на переваримость питательных веществ и морфологические показатели яиц кур-несушек. Применение пробиотико-минерального комплекса оказало положительное влияние на переваримость сырого протеина, сырого жира и сырой клетчатки, а также наблюдалось увеличение массы яиц, белка, желтка, индексов формы и единиц ХАУ.*

**Ключевые слова:** пробиотик, микроэлементы, ультрадисперсные частицы, куры-несушки, переваримость, морфологические показатели яиц.

**Актуальность.** Известно, что пробиотики улучшают переваримость питательных веществ рациона, увеличивая видимое удержание общих питательных веществ, таких как сухое вещество, органическое вещество, сырой протеин, нейтральная детергентная клетчатка и валовая энергия благодаря их свойству модуляции кишечного микробиома в желудочно-кишечном тракте [1]. Однако, минеральный состав также является неотъемлемой частью рациона, которая влияет на благополучие и продуктивность птицы. Некоторые минералы являются компонентами ферментов, катализирующих биохимические реакции, включая производство энергии, обмен веществ, передачу нервных импульсов, сокращение мышц и проницаемость клеток [2]. Хорошо известно, что в корма для сельскохозяйственной птицы добавляют неорганическую форму микроэлементов (сульфатные или оксидные соли), которые в больших количествах выводятся в окружающую среду в связи с их низкой биодоступностью и усвояемостью. Новые соединения минералов – хелатные комплексы и ультрадисперстные формы показали более высокую биодоступность в рационах птицы. УДЧ представляют собой частицу металла с измененными свойствами, меньшим размером и большей площадью поверхности [3].

Совместное применение пробиотика, улучшающего кишечное пищеварения и основных микроэлементов, оказывающих влияние на процесс формирования яйца, может дать положительный результат за счет лучшей усвояемости компонентов корма, химических элементов и их лучшей биодоступности.

**Материал и методы исследования.** Исследования проводились в период с на базе лаборатории биологических испытаний и экспертиз и лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве с использованием современной лабораторной базы Испытательного центра «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук».

Объектом исследований являются куры-несушки кросса Хайсекс Браун (ЗАО «Птицефабрика Оренбургская, [www.pfo56.ru](http://www.pfo56.ru)).

Для проведения III экспериментального исследования по оценке влияния комплекса Ультрадисперстных частиц (УДЧ) микроэлементов Cu, Fe, Mn, Zn и селенита натрия совместно с пробиотиком «Лактобифадол-Форте» методом групп-аналогов из 180-суточных кур-несушек были сформированы 5 групп по 30 голов в каждой. Продолжительность эксперимента составила 60 суток (табл. 1).

Кормление кур-несушек всех групп осуществлялось в соответствии с рекомендациями ВНИТИП (2021) [4], рацион замешивался самостоятельно из компонентов, представленных в приложении 1. Опытные группы в учетный период получали рацион с заменой зерновой части на пробиотик и неорганических форм микроэлементов премикса на эти же микроэлементы в форме УДЧ. I опытная группа получала пробиотик «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1,5 г/кг корма и МЭ, II опытная группа получала пробиотик «Лактобифадол-Форте» в дозировке 1 г/кг корма и МЭ, III опытная группа получала пробиотик «Лактобифадол-Форте» в дозировке 0,5 г/кг корма и МЭ, а IV опытная группа получала основной рацион с добавлением комплекса микроэлементов.

Таблица 1 - Схема экспериментального исследования

Объект исследования	Группа	Период опыта	
		подготовительный (150-180 сут.)	учетный (180-240 сут.)
Куры-несушки кросса «Хайсекс Браун» (n=150)	контрольная	Основной рацион (ОР)	ОР
	I опытная		ОР+ПБ+МЭ
	II опытная		ОР+ПБ+МЭ
	III опытная		ОР+ПБ+МЭ
	IV опытная		ОР+МЭ

Примечание: ОР – основной рацион ПК-1 по рекомендациям ВНИТИП, 2015;

ОР+ПБ+МЭ – основной рацион с пробиотиком «Лактобифадол-Форте» в различных дозировках и комплекс ультрадисперсных частиц микроэлементов;

ОР+МЭ – основной рацион с комплексом ультрадисперсных частиц микроэлементов.

Комплекс УДЧ микроэлементов состоял из меди (50 нм) в дозировке 4,8 мг/кг корма, УДЧ железа  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (80 нм) в дозировке 44 мг/кг корма, УДЧ марганца (50 нм) в дозировке 19,8 мг/кг корма, селенит натрия в дозировке 260 мкг на кг корма и УДЧ цинка  $\text{ZnO}$  (40 нм) в дозировке 20 мг/кг корма.

Используемые в экспериментальных исследованиях УДЧ производились в «Лаборатории синтеза наноструктур» ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

Для приготовления комбикорма использовали метод ступенчатого смешивания. Содержание птицы проводилось согласно «Руководство по работе с птицей кросса Хайсекс Браун» (2011) [5]. Кормление осуществлялось 1 раз в сутки, поение осуществлялось групповым методом согласно рекомендациям ВНИТИП 2015 г.

Изучение переваримости питательных веществ в процессе балансового опыта проводилось в соответствии с «Методическими рекомендациями по проведению научных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы» и методикой ВНИТИП [6]. Птица содержалась в типовых клетках для кур-несушек БН-1 производства компании «Стимул-Инк». Микроклимат в помещении соответствовал требованиям ОНТП-4-88.

Взвешивание яиц проводилось индивидуально ( $\pm 0,01$  г), морфологические показатели яиц определялись по общепринятым методикам.

Статистический анализ выполняли с использованием программного пакета Statistica 10.0 («StatSoftInc.», США) и Microsoft Excel. Статистическая обработка включала расчет среднего значения (М) и стандартные ошибки среднего ( $\pm \text{SEM}$ ). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Среднесуточное потребление кормов на протяжении всего экспериментального исследования составило  $132 \pm 1,21$  г в контрольной группе,  $127 \pm 1,00$  в I опытной группе,  $137 \pm 1,72$  во II опытной группе,  $133 \pm 1,39$  в III опытной группе и  $130 \pm 1,09$  в IV опытной группе.

В частности, переваримость сухого вещества у кур несушек II опытной группе снизилась на 2,4% ( $p \leq 0,05$ ), при увеличении данного показателя в III опытной группе на 0,9% (табл. 2).

Переваримость органического вещества в III опытной группе было выше на 1,2%, тогда как в I опытной на 2,4% ( $p \leq 0,05$ ), а во II опытной на 2,7% ( $p \leq 0,05$ ) было меньше чем в контрольной, за счет снижения переваримости клетчатки в этих группах. Переваримость сырого протеина в I опытной на 1,8%, во II опытной на 3,9% ( $p \leq 0,05$ ) и в III опытной на 3,5% ( $p \leq 0,05$ ) превышали контрольные значения.

Таблица 2 - Коэффициенты переваримости питательных веществ кур-несушек в возрасте 240 суток

Показатель	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
сухое вещество	73,2±0,58	72,0±0,16	70,8±0,62*	74,1±0,47	73,9±0,54
органическое вещество	76,9±0,50	74,5±0,15*	74,2±0,54*	78,1±0,40	76,6±0,48
сырой протеин	80,0±0,44	81,8±0,10*	83,9±0,34*	83,5±0,30*	81,2±0,39
сырая клетчатка	28,1±1,56	29,0±0,40	24,5±1,60	31,3±1,24	29,4±1,46
сырой жир	90,4±0,21	88,9±0,06*	91,5±0,18*	94,4±0,10*	85,1±0,31*

Примечание: \* $p \leq 0,05$  при сравнении опытных групп с контрольной

Переваримость сырого жира достоверно увеличивалась во II и III опытных группах на 1,1% ( $p \leq 0,05$ ) и 4% ( $p \leq 0,05$ ), а в I и IV опытных наоборот была меньше на 1,5% ( $p \leq 0,05$ ) и 5,3% ( $p \leq 0,05$ ) соответственно.

Таким образом, на основании показателей переваримости корма лучшими составом характеризовалась III опытная группа, в рацион которой включали 0,5 г/кг пробиотика «Лактобифадол-Форте» и комплекс ультрадисперсных частиц Cu, Fe, Mn, Zn и селенита натрия.

Оценка переваримости питательных веществ рациона показала выраженную стимуляцию обменных процессов за счет пролонгирующего эффекта пробиотико-минерального комплекса (ПМК). Усвоение питательных веществ в основном происходит в тонком кишечнике и напрямую зависит от высоты ворсинок и глубины крипт, а соответственно и общей площади поверхности. В современных исследованиях описывается, что марганец

является активатором или компонентом фермента, принимающим непосредственное участие в метаболизме углеводов, белков и жиров [7], а также приводятся данные об улучшении переваримости питательных веществ при введении различных УДЧ в рацион птицы [8].

Полученные нами результаты могут быть рассмотрены как совокупное влияние марганца и меди на стимуляцию пищеварительных ферментов с одновременным влиянием пробиотика на кишечное пищеварение.

Результаты морфологического анализа яиц (табл. 3) показали, что наибольшая масса яиц была в I опытной группе –  $59,37 \pm 0,48$ , а наименьшая в IV опытной группе –  $56,9 \pm 0,41$ .

Таблица 3 - Морфологические показатели яиц кур-несушек в возрасте 240 суток

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Масса яиц, г	$57,5 \pm 0,33$	$59,4 \pm 0,48^*$	$57,43 \pm 0,66$	$57,93 \pm 0,45$	$56,99 \pm 0,41$
Плотность яиц, г/см <sup>3</sup>	$1,06 \pm 0,01$	$1,06 \pm 0,01$	$1,07 \pm 0,01$	$1,06 \pm 0,01$	$1,06 \pm 0,01$
Масса составных частей яиц, г: белка	$31,9 \pm 0,22$	$33,1 \pm 0,31^*$	$32,7 \pm 0,25^*$	$32,0 \pm 0,29$	$31,7 \pm 0,31$
желтка	$16,0 \pm 0,09$	$17,0 \pm 0,11^*$	$16,6 \pm 0,14^*$	$17,1 \pm 0,16^*$	$15,7 \pm 0,14$
скорлупы	$9,62 \pm 0,37$	$9,31 \pm 0,30$	$8,15 \pm 0,45^*$	$8,85 \pm 0,50$	$9,61 \pm 0,40$
Индекс, %: формы	$77,6 \pm 0,58$	$77,8 \pm 0,58$	$77,6 \pm 0,87$	$78,1 \pm 0,38$	$77,6 \pm 0,60$
белка	$8,23 \pm 0,77$	$9,16 \pm 0,77$	$9,21 \pm 0,62$	$8,70 \pm 0,55$	$8,43 \pm 0,43$
желтка	$42,7 \pm 1,46$	$48,8 \pm 1,51^*$	$42,2 \pm 1,00$	$46,2 \pm 1,25$	$45,6 \pm 1,97$
Толщина скорлупы, мм	$0,33 \pm 0,016$	$0,35 \pm 0,006$	$0,35 \pm 0,007$	$0,36 \pm 0,013$	$0,36 \pm 0,010$
Единицы Хау	$77,9 \pm 4,40$	$82,6 \pm 3,31$	$82,6 \pm 3,31$	$81,1 \pm 3,33$	$82,1 \pm 1,52$

Примечание: \* $p \leq 0,05$ , при сравнении опытных групп с контрольной

Плотность яиц во всех группах составляла 1,06-1,07 г/см<sup>3</sup>, при достоверном превосходстве по массе белка I и II опытных групп на 3,8% ( $p \leq 0,05$ ) и 2,5% ( $p \leq 0,05$ ), при снижении на 0,6% в IV опытной группе. По массе желтка установлена аналогичная разница.

Масса скорлупы во всех опытных группах снижалась относительно контрольной, с наибольшей разницей на 15,3% ( $p \leq 0,05$ ) во II опытной группе.

Индекс формы яйца во II и IV опытных группах практически не

отличался от значений контрольной группы, на фоне превосходства I и III опытных групп на 0,2% и 0,5%.

Индекс формы белка в опытных группах был на одном уровне с контрольной, а индекс формы желтка достоверно был выше в I опытной группе на 6,1% ( $p \leq 0,05$ ), в то время как во II опытной группе он снижался на 0,5%.

Измерение единиц Хау показывает, что во всех опытных группах показатель был выше 80 единиц и превосходил контрольную группу на 4,1%-6%.

Ультрадисперсные частицы во многих исследованиях также показали улучшение качества яиц – индексов белка, желтка, единиц Хау и массы яиц [9], что в свою очередь связывают с более высокой поверхностной активностью, повышенной растворимостью и способностью значительно быстрее проходить через клеточные барьеры [10].

**Заключение.** Изменения переваримости питательных веществ корма свидетельствуют о положительной динамике всех показателей в III опытной группе, увеличение переваримости сырого протеина во всех опытных группах при снижении переваримости сырой клетчатки во II опытной, сырого жира в I и IV опытных группах.

Результаты морфологического анализа яиц показали, что наибольшая масса яиц за весь учетный период была в I опытной группе, а наименьшая в IV опытной группе. Масса белка имела достоверные различия в I и II опытной группе. Масса желтка была достоверно выше в I, II и III опытных группах. Количество единиц Хау было выше 80 единиц во всех опытных группах и превосходило контрольную группу на 4%-6%.

**Благодарность:** *Исследование выполнено при поддержке гранта на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (№ 075-15-2024-550)*

#### **Список литературы**

1. Neijat M., Shirley R.B., Barton J., Thiery P., Welsher A., Kiarie E. Effect of dietary supplementation of *Bacillus subtilis* DSM29784 on hen performance, egg



quality indices, and apparent retention of dietary components in laying hens from 19 to 48 weeks of age. *Poult. Sci.* 2019;98:5622–5635. doi: 10.3382/ps/pez324.

2. Ghosh A, Mandal G.P, Roy A, Patra A.K. Effects of supplementation of manganese with or without phytase on growth performance, carcass traits, muscle and tibia composition, and immunity in broiler chickens. *Livest. Sci.* 2016;191:80–85.

3. Joshua PP, Valli C, Balakrishnan V. Effect of in ovo supplementation of nano forms of zinc, copper, and selenium on post-hatch performance of broiler chicken. *Vet World.* 2016;9:287–294

4. Методическое пособие по кормлению сельскохозяйственной птицы / И.А. Егоров, Т.Н. Ленкова [и др.]; под общ. ред. В.И. Фисинина, И.А. Егорова. - Сергиев Посад: ВНИТИП, 2021. - 357 с.

5. Руководство по работе с птицей кросса Хайсекс Браун / Хмельницкая Т.А., Ивашкин В.А., Певень В.Г., Маркелова Н.Н., Околелова Т.М. [и др.] – Кашино, 2011. – 84 с.

6. 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.

7. Qiu J, Lu X, Ma L, Hou C, He J, Liu B, Yu D, Lin G, Xu J. Low-dose of organic trace minerals reduced fecal mineral excretion without compromising performance of laying hens. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2020 Apr;33(4):588-596. doi: 10.5713/ajas.19.0270.

8. Sarvestani, S., M. Resvani, M. J. Zamiri, S. Shekarforoush, H. Atashi, N. Mosleh. The Effect of Nanocopper and Mannan Oligosaccharide Supplementation on Nutrient Digestibility and Performance in Broiler Chickens. *Journal of Veterinary Research.* 2016;71:153–161.

9. Michalak I, Dziergowska K, Alagawany M, Farag MR, El-Shall NA, Tuli HS, Emran TB, Dhama K. The effect of metal-containing nanoparticles on the health,

performance and production of livestock animals and poultry. Vet Q. 2022 Dec;42(1):68-94. doi: 10.1080/01652176.2022.2073399.

10. Zahin N, Anwar R, Tewari D, Kabir MT, Sajid A, Mathew B, Uddin MS, Aleya L, Abdel-Daim MM. Nanoparticles and its biomedical applications in health and diseases: special focus on drug delivery. Environ Sci Pollut Res Int. 2020 Jun;27(16):19151-19168. doi: 10.1007/s11356-019-05211-0.i

## **THE EFFECT OF A COMPLEX OF PROBIOTICS AND ULTRAFINE PARTICLES OF TRACE ELEMENTS IN THE FEEDING OF LAYING HENS ON THE DIGESTIBILITY AND MORPHOLOGICAL PARAMETERS OF EGGS**

D.A. Silin, S.V. Lebedev

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

**Summary:** *The Materials present the results of studying various doses of the probiotic Lactobifadol Forte together with a complex of ultrafine particles trace elements – Cu, Mn, Fe, Zn and sodium selenite for the digestibility of nutrients and morphological parameters of eggs of laying hens. The use of the probiotic-mineral complex had a positive effect on the digestibility of crude protein, crude fat and crude fiber, as well as an increase in the weight of eggs, protein, yolk, shape indices and Haugh units.*

**Keywords:** *probiotic, trace elements, ultrafine particles, laying hens, digestibility, morphological parameters of eggs.*

УДК 636.2.087.7

## **ВЛИЯНИЕ L-КАРНИТИНА НА ФИЗИОЛОГИЮ ПИЩЕВАРЕНИЯ И ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ У КРС**

Е.В. Степанова, руководитель С.В. Мошкина

ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет

имени Н.В. Парахина, Орёл, Россия, darkwishesm@bk.ru

**Аннотация:** *L-Карнитин представляет собой витаминоподобное вещество, выполняющее ключевую функцию в энергетическом метаболизме. Он участвует в транспорте длинноцепочечных жирных кислот в митохондрии, выполняя жиромобилизирующее действие. В статье представлены результаты исследования влияния дополнительного введения L-карнитина в рацион крупного рогатого скота на физиологические процессы пищеварения и обмена веществ.*

**Ключевые слова:** *L-Карнитин, крупный рогатый скот, пищеварение, обмен веществ, продуктивность, кормовые добавки.*

**Актуальность.** L-Карнитин (левокарнитин) представляет собой эндогенное соединение, структурно и функционально родственное витаминам группы В, которое выполняет фундаментальную регуляторную функцию в процессах клеточного энергообмена. С биохимической точки зрения, это четвертичное аммониевое соединение, синтезируемое в организме из аминокислот лизина и метионина при участии аскорбиновой кислоты, железа и витаминов группы В в качестве кофакторов [1].

Исторически вещество было впервые идентифицировано в экстрактах мышечной ткани российскими исследователями В. С. Гулевичем и Р. П. Кримбергом в 1905 году, однако его ключевая метаболическая роль была установлена лишь спустя более чем полвека — в 1962 году, когда была раскрыта его принципиальная функция в механизме транспорта длинноцепочечных жирных кислот через внутреннюю митохондриальную мембрану.

С физиологической точки зрения, L-карнитин выступает незаменимым кофактором в процессе  $\beta$ -окисления жирных кислот, обеспечивая их перенос в матрикс митохондрий, где происходит их последующее катаболическое расщепление с генерацией АТФ. Этот процесс осуществляется посредством сложной ферментативной системы, известной как "карнитиновый челнок", включающей транслоказу карнитин-ацилкарнитина и карнитин-пальмитоилтрансферазу I и II. Без участия L-карнитина проникновение

активированных жирных кислот через внутреннюю митохондриальную мембрану становится энергетически невозможным, что приводит к нарушению липидного обмена и дефициту энергопродукции, особенно в условиях повышенных метаболических потребностей организма [2].

Биологическая роль L-карнитина в энергетическом обмене крупного рогатого скота является фундаментальной и многогранной. L-Карнитин играет ключевую роль в углеводно-жировом и белковом обменах крупного рогатого скота. Его центральной функцией является транспорт длинноцепочечных жирных кислот через внутреннюю митохондриальную мембрану в митохондриальный матрикс для их последующего  $\beta$ -окисления, что определяет его жиромобилизирующее действие. Без этого процесса окисление жирных кислот и генерация энергии в форме АТФ были бы существенно затруднены. Параллельно L-карнитин уравнивает уровень свободного коэнзима-А и ацетил-коэнзима А между митохондрией и цитоплазмой, обеспечивая тем самым энергетические потребности клеток. Кроме того, он управляет множеством других метаболических процессов, включая регулирование глюконеогенеза, стимуляцию синтеза жирных кислот, кетонный метаболизм, а также метаболизм триглицеридов и холестерина.

Основной особенностью пищеварения у крупного рогатого скота является многокамерное строение желудка, где рубец выполняет функцию бродильной камеры, обеспечивающей симбионтное пищеварение. В преджелудках (рубец, сетка, книжка) происходит ферментация растительных полисахаридов микроорганизмами (бактериями, простейшими, грибами) с образованием летучих жирных кислот — уксусной, пропионовой и масляной, которые служат основным источником энергии (обеспечивая 60–80% потребности) и субстратом для глюконеогенеза. Процесс микробного синтеза в рубце сопровождается образованием микробного белка, который после переваривания в сычуге и тонком кишечнике становится главным источником аминокислот для организма [3, 8].

Липидный обмен у жвачных имеет специфику — ненасыщенные жирные кислоты корма подвергаются в рубце гидрированию с образованием насыщенных форм, что ограничивает поступление незаменимых полиненасыщенных жирных кислот и влияет на метаболизм липопротеинов. Энергетический гомеостаз поддерживается за счет сложной регуляции глюконеогенеза и кетогенеза, особенно выраженного в период отрицательного энергетического баланса. Печень выполняет центральную роль в метаболической адаптации, регулируя перераспределение нутриентов между синтезом молока, поддержанием гомеостаза и репродуктивной функцией.

Особенностью минерального обмена крупного рогатого скота является зависимость от рубцового pH и активности микрофлоры, что определяет биодоступность макро- и микроэлементов. Водно-солевой обмен тесно связан с осморегуляцией в преджелудках и реабсорбцией электролитов в кишечнике. Нейрогуморальная регуляция пищеварения осуществляется как автономной нервной системой через блуждающий нерв, так и гастроинтестинальными гормонами (гастрин, секретин, холецистокинин), координирующими моторную и секреторную функции желудочно-кишечного тракта [2, 3].

L-Карнитин проявляет липотропные и антистрессирующие свойства, что имеет особое значение для высокопродуктивных животных. У жвачных животных пероральное применение L-карнитина способствует увеличению поедаемости кормов, усилению выделения пищеварительных соков до 37,9% и повышению объемов всасывания питательных веществ в кишечнике до 27,0%. Это особенно ярко проявляется у растущего молодняка, у которого, наряду с улучшением всасывания азотистых веществ на 24,0%, достоверно повышается усвоение серосодержащих аминокислот метионина и цистина, а отложение азота в теле увеличивается на 15,5%. Эндогенный синтез L-карнитина у жвачных часто бывает недостаточен в периоды метаболического стресса, такие как интенсивный откорм или лактация, что обуславливает необходимость его дополнительного введения с кормовыми добавками для оптимизации физиологического статуса и продуктивности животных.

Проблема недостаточности эндогенного синтеза L-карнитина у крупного рогатого скота представляет собой серьезное метаболическое нарушение, в основе которого лежит неспособность организма животного синтезировать или удерживать достаточное количество витаминоподобного вещества для покрытия повышенных физиологических потребностей. В норме L-карнитин синтезируется в печени и почках из аминокислот-предшественников — лизина и метионина — при обязательном участии целого ряда кофакторов, таких как витамин С, витамины В3, В6, фолиевая кислота и железо. Однако этот эндогенный синтез является ограниченным и зачастую покрывает лишь базовые потребности, не справляясь с нагрузками в критические периоды жизни животного [1, 4].

Основная причина развития недостаточности заключается в том, что при повышенных метаболических процессах, таких как интенсивный рост, беременность, лактация или метаболические заболевания (кетоацидоз), потребность в L-карнитине может возрасти в несколько раз, что значительно превосходит возможности его собственного синтеза. Помимо этого, к развитию дефицита могут приводить избыточные потери карнитина, например, при диарее, повышенном диурезе или других патологических состояниях, сопровождающихся его усиленным выведением через почки. Еще одним фактором риска является неадекватное поступление с кормом либо нарушение всасывания в кишечнике, что может быть связано с патологиями пищеварительной системы.

Последствия дефицита L-карнитина носят системный характер. При его недостатке метаболический процесс нарушается, что приводит к резкому снижению выработки энергии на уровне клетки, особенно в тканях с высокими энергетическими потребностями, таких как миокард и скелетные мышцы. Клинически это может проявляться в виде мышечной слабости, низкой переносимости физических нагрузок, кардиомиопатии, а также способствовать развитию жировой инфильтрации печени и гипогликемии.

Влияние L-карнитина на пищеварительные процессы у крупного рогатого скота реализуется через сложные патофизиологические механизмы, затрагивающие как метаболические, так и секреторно-моторные функции желудочно-кишечного тракта. Физиологическое действие L-карнитина начинается на уровне преджелудков, где он модулирует метаболическую активность рубцовой микрофлоры, хотя в значительной степени подвергается микробной деградации при использовании незащищенных форм. Более значимый эффект наблюдается в сычуге и тонком отделе кишечника, где L-карнитин усиливает секрецию хлористоводородной кислоты и пепсиногена, создавая оптимальные условия для денатурации белков и активации протеолитических ферментов [5, 6].

На клеточном уровне L-карнитин стимулирует энергетический метаболизм энтероцитов через активацию  $\beta$ -окисления длинноцепочечных жирных кислот, что повышает функциональную активность слизистой оболочки кишечника и усиливает процессы мембранного транспорта нутриентов. Доказанным является его влияние на увеличение всасывательной поверхности кишечника за счет стимуляции пролиферации энтероцитов и удлинения кишечных ворсинок. Особое значение имеет способность L-карнитина оптимизировать липидный обмен в стенке кишечника.

В толстом отделе кишечника L-карнитин проявляет цитопротекторные свойства, поддерживая барьерную функцию колоноцитов и уменьшая проницаемость кишечной стенки для эндотоксинов. Клинически это проявляется в достоверном улучшении переваримости и усвоения основных питательных веществ: протеина на 15-20%, липидов на 18-25%, углеводов на 12-15%. При этом отмечается нормализация консистенции химуса и сокращение времени пассажа по желудочно-кишечному тракту, что имеет особое значение для высокопродуктивных животных в период метаболического стресса [5-7].

Научные исследования и производственные испытания демонстрируют, что добавление L-карнитина в рацион крупного рогатого скота оказывает

комплексное положительное влияние на его продуктивные качества, что реализуется через улучшение обмена веществ и здоровья животных. Введение в рацион высокопродуктивных молочных коров защищенной формы L-карнитина способствует достоверному повышению среднесуточных удоев. Одновременно с ростом надоев улучшается и качество молока: снижается количество соматических клеток. Применение L-карнитина также положительно сказывается на содержании жира и белка в молоке [8, 2, 3].

Экономическая эффективность использования L-карнитина заключается не только в росте объемов и качества продукции, но и в значительном снижении затрат на ее производство. Научно-хозяйственный опыт зафиксировал снижение затрат кормов на производство 1 кг молока: энергетических кормовых единиц на 3.8–10.8%, переваримого протеина на 3.6–10.5%, а концентрированных кормов на 3.8–10.7% . Это свидетельствует о более эффективном использовании питательных веществ рациона. Помимо прямого воздействия на молочную продуктивность, L-карнитин улучшает репродуктивные функции коров и способствует очевидному приросту массы.

**Заключение.** Дополнительное введение L-карнитина в рацион животных способствует оптимизации ферментативной активности желудочно-кишечного тракта, усиливает секреторную функцию пищеварительных желез и улучшает усвояемость питательных веществ корма. На метаболическом уровне L-карнитин демонстрирует выраженное липотропное действие, нормализуя транспорт длинноцепочечных жирных кислот через митохондриальные мембраны и активизируя процессы  $\beta$ -окисления, что приводит к более эффективному использованию энергетических ресурсов организма. Особую значимость эти эффекты приобретают в условиях повышенных физиологических нагрузок, характерных для высокопродуктивных животных в периоды лактации и интенсивного роста. Применение защищенных форм L-карнитина, устойчивых к деградации в рубце, обеспечивает его целенаправленное воздействие на метаболические процессы, способствуя



профилактике метаболических нарушений, улучшению функционального состояния печени и повышению общей продуктивности животных.

### **Список литературы**

1. Конденцова Д. В. Витаминоподобные вещества и каротиноиды как ингредиенты специализированных пищевых продуктов / В. М. Коденцова, Д. В. Рисник, Е. В. Крюкова — Санкт-Петербург, 2025. — 176 с.
2. Грачева О. А. Диетология животных / О. А. Грачева, Д. М. Мухутдинова, З. М. Зухрабова. — Санкт-Петербург, 2023. — 72 с.
3. Кцоева И. И. Основы физиологии / И. И. Кцоева, А. Р. Габолаева. — Владикавказ: Горский ГАУ, 2021. — 128 с.
4. Курлыкова Ю. А. Внутренние незаразные болезни мелких животных с основами диетологии / Ю. А. Курлыкова. — Самара: СамГАУ, 2025. — 84 с.
5. Рогожин В. В. Биохимия сельскохозяйственной продукции / В. В. Рогожин. — Санкт-Петербург: ГИОРД, 2014. — 544 с.
6. Кислякова Е. М. Современные кормовые добавки в кормлении животных / Е. М. Кислякова, Г. В. Азимова. — Ижевск: УдГАУ, 2020. — 88 с.
7. Мусаева Н. М. Пищевые и биологически активные добавки / Н. М. Мусаева. — Махачкала: ДагГАУ имени М.М.Джамбулатова, 2019. — 58 с.
8. Земскова Н. Е. Биология продуктивных животных / Н. Е. Земскова, А. Г. Мещеряков, А. А. Грашин, А. А. Живалбаева. — Самара: СамГАУ, 2025. — 35 с.

### **EFFECT OF L-CARNITINE ON DIGESTION AND METABOLISM IN CATTLE**

Elizaveta V. Stepanova, Svetlana V. Moshkina.

Orel State Agrarian University

named after N.V. Parakhina, Orel, Russia, darkwishesm@bk.ru

E-mail: darkwishesm@bk.ru, sv.moshkina@orelsau.ru

**Summary:** *L-Carnitine is a vitamin-like substance that performs a key function in energy metabolism. It is involved in the transport of long-chain fatty acids to mitochondria, exerting a fat-mobilizing effect. This article presents the results of a study on the impact of supplementing L-carnitine in the diet of cattle on physiological processes of digestion and metabolism.*

**Key words:** *L-Carnitine, cattle, digestion, metabolism, productivity, feed additives.*

УДК 636.2.082.3

## **ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОПРОТЕИНОВОГО КОНЦЕНТРАТА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ТЁЛОК СЛУЧНОГО ВОЗРАСТА**

Ю. Г. Ткаченко, В.Г. Блиадзе, В.В. Бардаш

Калининградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р.

Вильямса», Славянское, kaliningradniish@yandex.ru

**Аннотация:** *Проведение исследований связано с потребностью в снижении затрат на рецепты комбикормов и замене сои кормовым люпином, что оптимизирует протеиновое питание и повышает биоконверсию питательных веществ корма в продукцию.*

*Эти корма, в основном на базе сои, очень дорогостоящие. В Калининградской области они не вызревают, а логистические расходы на их доставку делают использование таких кормов экономически нецелесообразным.*

*Целесообразность использования комбикорма подтверждается интенсивностью роста и развития тёлочек, достигших физиологической зрелости в возрасте 15 месяцев.*

**Ключевые слова:** *тёлки, комбикорма, люпин, приросты.*

**Актуальность.** Проведения исследований связана с необходимостью удешевления рецептов комбикормов и введением в их состав зерна кормового люпина вместо сои.

Повышение биоконверсии питательных веществ корма в продукцию может решаться за счет оптимизации протеинового питания.

В то же время при содержании в кормах рационов жвачных большого количества расщепляемого протеина, микроорганизмы преджелудков не в состоянии потребить весь расщепленный аммиак для синтеза своего тела.

Поэтому излишек аммиака превращается в печени в мочевины и не продуктивно выводится из организма. К тому же, микробный белок не в состоянии удовлетворить возрастающие потребности растущего организма в аминокислотах. Именно поэтому возрастает необходимость в транзитном кормовом протеине, не расщепляющемся в рубце и хорошо перевариваемом в кишечнике [1].

Однако ассортимент кормов с содержанием высококачественного протеина с оптимальным аминокислотным составом и высокой перевариваемостью в кишечнике животных очень ограничен.

К тому же эти корма, в основном на базе сои, кукурузы, подсолнечника и др., очень дорогостоящие. Эти культуры в климатических условиях Калининградской области не вызревают, а дополнительные логистические расходы на доставку их других регионов делают использование таких кормов экономически нецелесообразным.

Одним из альтернативных источников белка, способного заменить сою и другие дорогостоящие корма растительного и животного происхождения, является люпин. Семена с высоким содержанием протеина (до 40%), богатым аминокислотным составом. При экструдировании зерна люпина под действием высокой температуры и давления значительно повышается перевариваемость белка и доступность аминокислот, увеличивается количество протеина, неразрушающегося в рубце - он усваивается в тонком отделе кишечника [2].

В результате снижаются затраты на производство животноводческой продукции - решается глобальная задача обеспечения населения доступной по цене говядиной.

Культура с относительно недолгим (100 дней) периодом вегетации, при

высокой обеспеченности влагой выращивают в зоне северо-западного земледелия России. Такого дешевого протеина и в таком количестве с единицы площади не может производиться на слабо удобренных песчаных почвах ни одна другая кормовая культура.

Цель - установить эффективность включения в состав комбикорма энергопротеинового концентрата из экструдированного зерна узколистного люпина, в сочетании с макро- и микроэлементами на рост и развитие тёлочек, достигших физиологической зрелости в возрасте 15 месяцев.

Научная новизна - впервые в условиях Калининградской области использовалось в приготовлении комбикорма компонент энергопротеинового концентрата в сочетании с макро- и микроэлементами в рекомендованных количествах для тёлочек, достигших физиологической зрелости в возрасте 15 месяцев.

**Материал и методы исследования.** Объектом исследования являлся комбикорм с энергопротеиновым концентратом, содержащий в своём составе экструдированное зерно узколистного люпина, льна масличного, пайзы, макро- и микроэлементы в рекомендуемых количествах, тёлочки, достигшие физиологической зрелости в возрасте 15 месяцев.

Исследования проводились сотрудниками отдела животноводства и ветеринарной медицины на ферме КФХ «Муромское» Зеленоградского района Калининградской области. По принципу аналогов (по методике А.И. Овсянникова, 1976.) сформировано три группы тёлочек (по 10 голов каждая), одна контрольная и две опытных.

Статистическая обработка результатов проводилась с учётом критерия достоверности по Стьюденту по методике Н.А. Плохинского и использованием возможностей Microsoft Office Excel на персональном компьютере. Оценивалось значение критерия достоверности в зависимости от объема анализируемого материала.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Биохимические исследования крови тёлочек свидетельствовали о более интенсивном обмене

веществ у тёлочек опытных групп по сравнению с контрольной (табл.1).

Таблица 1- Биохимические исследования крови тёлочек

Показатели	Группа животных		
	Контрольная М ±m	Опытная I М ±m	Опытная II М ±m
Общий белок, г/л	68,0±2,31	70,5±1,54	77,3±1,28*
Альбумин, г/л	36,5±0,52	40,6±1,07	45,5±1,13*
Глобулин, г/л	46,3±2,85	47,1±2,05	49,8±0,09
АГ коэффициент	0,80±0,11	0,86±0,15	0,9±0,08
Мочевина, ммоль/л	7,81±0,27	6,47±0,52	3,55±0,46**
Креатинин, ммоль/л	92,51±3,59	102,75±3,88	121,50±5,20**
АЛТ, ме/л	40,5±2,60	32,0±1,25	25,8±1,0
АСТ, ме/л	110,8±1,93	88,7±2,38	81,6±3,75
Глюкоза, ммоль/л	8,05±1,41	5,06±1,15*	4,10±2,0**

\* (p≤0,05);

\*\* (p≤0,01) достоверность приведена в сравнении опытных групп к контрольной

Достоверно выше уровень общего белка (+9,3 г/л) и альбумина (+9,0 г/л) во второй опытной группе к контрольной.

В этой опытной группе в крови животных меньше уровень мочевины (-4,2 ммоль/л) и выше, чем в контрольной уровень креатинина (+28,9 ммоль/л).

В то же время в крови животных опытных групп меньше активность аминотрансфераз (АЛТ и АСТ), ниже уровень глюкозы (-3,95 ммоль/л), что, по нашему мнению, отражает более удобное соотношение белка и углеводов и, в результате, больше энергии в рационе.

Таблица 2 - Прирост живой массы и затраты кормов

Показатели	Группа животных		
	Контрольная М ±m	Опытная I М ±m	Опытная II М ±m
Живая масса, кг			
В начале опыта	336,8±2,5	341,2±2,8	339,4±3,1
В конце опыта	401,6±2,6	415,1±3,0	420,9±2,4
Валовый прирост, кг	64,8±2,6	73,9±3,0*	81,5±2,9*
Среднесуточный прирост, грамм	720,7±11	821,2±13*	905,6±11**
На 1 кг прироста затрачено			
Обменная энергия, МДж	45,8	57,6	69,1
Сухое вещество, кг	10,11	10,13	10,11
Сухой протеин, грамм	589	821	987

Комбикорм, кг	4,0	4,0	4,0
---------------	-----	-----	-----

\* ( $p \leq 0,05$ );

\*\* ( $p \leq 0,01$ ) достоверность приведена в сравнении опытных групп к контрольной

За три месяца опыта (90 дней) валовой прирост тёлочек составил в первой опытной группе 73,9 кг, что на 9, 1 кг больше, чем в контрольной, во второй опытной 81,5 кг или +16,7 кг к контрольной (Таблица 2). Соответственно, и среднесуточный привес в первой опытной +100,5 грамм и во второй опытной +184,9 грамм, что больше чем в контрольной группе.

В 14-ти месячном возрасте, в начале опытного периода, живая масса тёлочек составляла 336-341 кг. Фактически физиологической зрелости они достигли уже через месяц от начала опыта (по стандарту породы симментальского скота молочно-мясного направления продуктивности 350-360 кг) [3].

Таблица 3 - Экстерьерные показатели телок в 17-ти месячном возрасте

Показатели	Группа животных		
	Контрольная М $\pm$ m	Опытная I М $\pm$ m	Опытная II М $\pm$ m
Высота в холке, см	115,2 $\pm$ 0,39	117,3 $\pm$ 0,42	119,1 $\pm$ 0,51
Косая длина туловища, см	137,5 $\pm$ 1,14	139,0 $\pm$ 1,12	141,4 $\pm$ 1,22
Обхват груди за лопатками, см	160,3 $\pm$ 1,09	162,5 $\pm$ 1,11	166,4 $\pm$ 1,12
Глубина груди, см	57,2 $\pm$ 0,67	58,3 $\pm$ 0,66	60,1 $\pm$ 0,56
Индексы телосложения			
Растянутости	116,5 $\pm$ 0,83	118,4 $\pm$ 0,53	119,3 $\pm$ 0,97
Сбитости	116,6 $\pm$ 1,08	116,9 $\pm$ 0,90	117,7 $\pm$ 1,04
Массивности	138,5 $\pm$ 1,21	139,1 $\pm$ 1,15	139,7 $\pm$ 1,10

Оценивая полученные данные промеров и индексов телосложения, можно сказать, что тёлки симментальской породы молочно-мясного направления продуктивности случного возраста: рослые, с глубокой грудью, гармоничного телосложения, заводской кондиции, соответствуют по типу телосложения крепкой и плотной конституции.

**Заключение.** Проведенные исследования свидетельствуют, что введение в рацион тёлочек случного возраста энергопротеинового концентрата,

содержащего 25% экструдированных и измельченных семян люпина узколистного, положительно влияют на рост и развитие тёлочек случного возраста.

Улучшились показатели обмена веществ, за счет повышения белка на 9,9 г/л и интенсивности обменных процессов снизился уровень мочевины и глюкозы. За три месяца опытного периода валовый прирост во второй опытной группе больше на 16,7 кг, чем в контрольной. Улучшились показатели индексов телосложения: растянутости, сбитости, массивности.

### **Список литературы**

1. Батраков, А. Я. Пути повышения воспроизводства стада крупного рогатого скота / А. Я. Батраков, С. В. Васильева // Современные проблемы ветеринарного акушерства и биотехнологии воспроизведения животных : Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения Воронежской школы ветеринарных акушеров, Воронеж, 18–19 октября 2012 года. – Воронеж: Истоки (Воронеж), 2012. – С. 92-96. – EDN WXRVLZ.3. Алексеев Е.К. Однолетник кормовые люпины. – М. – И.: «Колос», 1968. – 263 с.

2. Шелушение, измельчение и сепарация зерна белого люпина для производства белковых концентратов / В. М. Косолапов, С. В. Зверев, А. С. Цыгуткин, А. Э. Ставцев // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов: Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции, Курск, 13–15 июля 2022 года. – Курск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Курский федеральный аграрный научный центр", 2022. – С. 346-350. – EDN FVOSOE.

3. Анисимова, Е. И. Особенности роста и развития телочек симментальской породы разных типов по периодам роста / Е. И. Анисимова, Е. Р. Гостева // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. – 2014. – Т. 3, № 1. – С. 10-13. – EDN TELYWT.

# **INFLUENCE OF ENERGY-PROTEIN CONCENTRATE ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF HEIFERS AT BREEDING AGE**

Tkachenko U. G., Bliadze V. G., Bardash V. V.

Kaliningrad Research Institute of Agriculture - a branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Slyavanskoe settlement, Kaliningrad region, Russian Federation

Slavyanskoye, kaliningradniish@yandex.ru

**Abstract:** *The research is driven by the need to reduce costs for compound feed recipes and to replace soy with feed lupin, which optimizes protein nutrition and enhances the bioconversion of nutrients in feed into production. These feeds, primarily based on soy, are very expensive. In the Kaliningrad region, they do not mature, and the logistics costs for their delivery make the use of such feeds economically unfeasible. The appropriateness of using compound feed is confirmed by the intensity of growth and development of heifers that have reached physiological maturity at the age of 15 months.*

**Keywords:** *heifers, compound feed, lupin, weight gains.*

УДК 633.367.3

## **ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕРНА БЕЛОГО ЛЮПИНА КАК ОСНОВА БЕЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В КОРМЛЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ И ПТИЦЫ**

А.С. Цыгуткин

ФГБНУ Верхневолжский ФАНЦ, Всероссийский НИИ органических удобрений и торфа – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр»

601390, Владимирская обл., Судогодский р-н, Вяткино п.,

Прянишникова ул., д.2

UWL2010@mail.ru

**Аннотация:** *Исследование провели для изучения элементного и химического состава зерна трёх сортов белого люпина Гамма, Дега и Детер 1.*



*Интенсивное потребление химических элементов позволяет белому люпину иметь уникальный химический состав зерна, который показывает, что содержание многих нормируемых в кормлении химических элементов значительно большее, чем в семенах других зернобобовых культур. По содержанию азота, марганца и натрия белый люпин является растением-концентратором.*

**Ключевые слова.** Белый люпин, макроэлементы, микроэлементы, химические вещества.

**Актуальность.** Эффективности кормления сельскохозяйственных животных и птицы в значительной степени определяют используемые корма. Исследование химического состава кормов и их составляющих позволяет уточнить рационы кормления, оптимизировать технологии возделывания сельскохозяйственных культур для получения кормов с заданными параметрами качества.

Белый люпин как источник корма относится к культурам, которые соответствуют требованиям интенсивного животноводства и птицеводства: получение в единице массы корма максимального количества обменной энергии. Ранее проводили аналитические исследования химии зерна белого люпина с ограниченным числом растительных образцов, включавшим ограниченное количество химических элементов и веществ [1,2], что не позволяло получать представительные выборки данных. В связи с этим особенности химического состава зерна у наиболее распространённых сортов белого люпина представляют интерес не только для науки, но и для производства, т.к. разработка технологий возделывания белого люпина основана на знаниях элементного состава зерна, особенностей транслокации химических элементов из почвы и удобрений в растения с последующим переходом в кормовой цепи от растения в организм животного и человека.

Выбор химических элементов для исследований сделан на основании их значения для жизни растений и включает необходимые макро- и микроэлементы (азот, фосфор, калий, кальций, магний, натрий, сера, железо,

молибден, медь, марганец, цинк, кобальт), а также химические вещества, определяющие качество корма (сырой протеин, сырой жир, сырая клетчатка, сырая зола) и наличие антипитательных веществ [3].

Целью исследования является анализ химического состава зерна белого люпина трёх сортов, возделывание которых вели на протяжении трёх лет.

**Материал и методы исследования.** Для исследования использовали семена белого люпина трёх сортов Гамма, Дега и Детер 1, относящихся к разным морфотипам, но устойчиво созревающим в условиях Центрального Черноземья. При влажных и прохладных или при сухих и жарких условиях роста и развития растений период вегетации у них может, соответственно, увеличиваться или уменьшаться. Средняя продолжительность периода вегетации от всходов до полной спелости у сорта Гамма составляет 103 дня, Дега – 104 дня, Детер 1 – 96 дней.

Почва опытного участка: чернозём выщелоченный, среднесуглинистый. Средневзвешенные агрохимические показатели плодородия почвы: гумус 8,0%, рН 5,7, степень насыщенности почвы основаниями 82,7%, подвижный фосфор (по Чирикову) 64 мг  $P_2O_5$  на 1 кг почвы, обменный калий (по Масловой) 104 мг  $K_2O$  на 1 кг почвы.

Анализ семян белого люпина на содержание химических элементов и веществ определяли в семенах, ядре семян и проводили в Государственном центре агрохимической службы «Белгородский» по методикам, принятым в Государственной агрохимической службе России.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Исследуемые химические элементы можно классифицировать по их количеству в растительном организме на органогенные, макро- и микроэлементы, по значению для роста и развития растений на необходимые и условно необходимыми, по использованию в рационах кормления.

Исследования показали, что по содержанию азота, марганца и натрия белый люпин является растением-концентратором [4,5], а также содержит

другие макро- и микроэлементы в больших количествах, чем другие зернобобовые культуры [6].

Содержание азота в семенах зависело от сортовых особенностей белого люпина, технологии его возделывания и метеорологических условий в период вегетации. Белый люпин из-за характеризуется высоким содержанием азота в зерне, содержание которого изменялось от 6,57 до 7,07% при среднем значении  $6,82 \pm 0,25\%$  (табл. 1).

Известно, что при оптимизации азотного питания содержание сырого протеина в зерне может быть повышено на 2-3%. При глубокой переработке зерна, включающей его обрушение и сушку с использованием инфракрасного излучения, можно увеличить содержание сырого протеина на 10% и более. Это даст возможность производить корм с новыми, более ценными качествами и сохранить содержание алкалоидов в зерне на уровне ниже значения ПДК для кормовых культур [7].

Таблица 1 - Элементный состав зерна белого люпина

Элемент	Единица измерения	$X_{\text{среднее}} \pm \text{доверительный интервал}$	Границы доверительного интервала
Азот	%	$6,82 \pm 0,25$	$6,57 \div 7,07$
Фосфор	%	$0,45 \pm 0,07$	$0,38 \div 0,52$
Калий	%	$1,37 \pm 0,17$	$1,20 \div 1,54$
Кальций	%	$0,35 \pm 0,02$	$0,33 \div 0,37$
Магний	%	$0,17 \pm 0,02$	$0,15 \div 0,19$
Натрий	%	$0,240 \pm 0,006$	$0,234 \div 0,246$
Сера	%	$0,31 \pm 0,02$	$0,29 \div 0,33$
Железо	мг/кг	$41,85 \pm 1,36$	$40,49 \div 43,21$
Цинк	мг/кг	$48,55 \pm 4,33$	$44,22 \div 52,88$
Молибден	мг/кг	$6,80 \pm 0,67$	$6,13 \div 7,47$
Медь	мг/кг	$6,06 \pm 0,82$	$5,24 \div 6,88$
Марганец	мг/кг	$390,70 \pm 181,57$	$209,13 \div 572,27$
Кобальт	мг/кг	$0,82 \pm 0,19$	$0,63 \div 1,01$
Сырая зола	%	$3,94 \pm 0,37$	$3,57 \div 4,31$
Сырой протеин	%	$43,85 \pm 2,24$	$41,61 \div 46,11$
Сырой жир	%	$8,42 \pm 0,76$	$7,66 \div 9,18$
Сырая клетчатка	%	$12,25 \pm 0,46$	$11,79 \div 12,71$
Обменная энергия	мДж	14,83	—
	ккал	354,26	—

Белый люпин относится к крупносемянным культурам, которые накапливают большое количество фосфора в зерне:  $0,45 \pm 0,07\%$ . Его

содержание тесно связано с содержанием азота в зерне, поэтому большое потребление растениями азота требует большого количества фосфора. Но сравнивая соотношения «N : P» видно, что при высоких значениях содержания азота и фосфора в зерне их соотношение не является самым большим среди зерновых, зернобобовых, технических и других культур.

Белый люпин – растение, потребляющее большое количество калия, содержание которого в зерне достигает 1,37%, что способствует активному потреблению азота, повышению урожайности зерна и улучшению качества продукции, т.к. улучшение калийного питания растений приводит к повышению содержания азота в генеративных органах [8,9].

Кальций относится к числу нормируемых элементов в рационах кормления. Поэтому высокое содержание фосфора в зерне требует проведения корректировки кормов по содержанию кальция при использовании целого зерна белого люпина, которого содержится  $0,35 \pm 0,02\%$ . Т.к. считается, что если в кормовом рационе на одну часть P приходится 0,5-2,0 частей Ca, то усвоение их будет хорошим. В зерне белого люпина соотношение «Ca : P» равно 0,78, что свидетельствует о нахождении данного соотношения в оптимальных для корма пределах.

Магния в зерне содержится меньше, чем кальция ( $0,17 \pm 0,02\%$ ). В зерне соотношение элементов «Ca : Mg» равно 2,06. Принято считать, что если в корме соотношение химических элементов кальция и магния находится в пределах 2,0-3,0, то корм будет усваиваться лучше. По нашим данным соотношение Ca : Mg в зерне оптимально.

Натрия в зерне также содержится меньше, чем кальция ( $0,240 \pm 0,006\%$ ), но значительно больше по сравнению с другими зернобобовыми культурами. Разброс данных о содержании натрия в зерне и его частях минимальный, изменяясь от 0,23 до 0,25%. Высокое содержание натрия в зерне белого люпина важно для сбалансированного питания по данному элементу.

Содержание серы в зерне белого люпина составляет  $0,31 \pm 0,02\%$ , что свидетельствует о большом её значении для роста и развития растений.

Участвуя в цикле азота, сера является исходным продуктом при синтезе белков и конечным при их распаде, усиливает формирование клубеньковых бактерий и способствует фиксации азота из атмосферы. Поэтому белый люпин, накапливая в зерне большое количество азота, потребляет для его усвоения серу в количестве, значительно большем, чем другие культуры. Сера входит в состав незаменимой аминокислоты метионина и заменимой аминокислоты цистина, количество которых лимитировано в кормах для сельскохозяйственной животных и птицы. Разброс данных о содержании серы в зерне также небольшой: от 0,30 до 0,35%.

В зерне белого люпина накапливается  $390,70 \pm 181,57$  мг/кг марганца. Производить корма с высоким содержанием марганца важно для развития селекции мясного направления животноводства и птицеводства, т.к. он укрепляет скелет животных и птицы, что позволяет формировать большую убойную массу.

Железо и другие необходимые микроэлементы (молибден, цинк, медь, кобальт) сконцентрированы, в основном, в ядре зерна. Накопление их различается по годам, что связано с варьированием данных о формировании урожая из-за погодных условий, пестроты плодородия почвы, обеспеченности растений питательными элементами минеральных и органических удобрений.

В зерне белого люпина накапливается железа –  $41,85 \pm 1,36$  мг/кг, цинка –  $48,55 \pm 4,33$  мг/кг, молибдена –  $6,80 \pm 0,67$  мг/кг, кобальта –  $0,82 \pm 0,19$  мг/кг, меди –  $6,06 \pm 0,82$  мг/кг. В зерне белого люпина марганец, цинк, кобальта и молибдена содержится больше, чем в семенах сои и других зерновых и зернобобовых культур, а меди – меньше. При этом вынос микроэлементов с урожаем белого люпина значительно больший, чем с урожаем сои и других зернобобовых культур.

Содержание сырой золы в зерне составило в среднем  $3,94 \pm 0,37\%$  при разбросе значений доверительного интервала от 3,57 до 4,31%. В ядре белого люпина содержится сырой золы в 1,2 раза больше, чем в оболочке, т.к. в ядре зольных элементов больше, чем в оболочке

Содержание сырой клетчатки в целом зерне составляет  $12,25 \pm 0,46\%$  при разбросе значений доверительного интервала от 11,79 до 12,71%. В наибольшей степени сырая клетчатка сконцентрирована в оболочке семени, где среднее её содержание составляет  $53,64 \pm 1,19\%$ , в ядре её сформировалось незначительное количество:  $2,49 \pm 0,35\%$ . Разделение зерна люпина на ядро и оболочку при его глубокой переработке может быть использовано в производстве для повышения перевариваемости кормов, устранения необходимости применения не ферментов, ускоряющих разложение клетчатки, содержание которой в корме ограничено и нормируется в рационах кормления. Оболочка белого люпина, которая содержит большое количество сырой клетчатки, может быть использована в кормлении жвачных животных, испытывающих потребность в кормах с высоким её содержанием.

Среднее содержание сырого протеина в зерне составило  $43,85 \pm 2,24\%$  при разбросе значений доверительного интервала от 41,61 до 46,11%.

Содержание сырого жира в зерне белого люпина составило  $8,42 \pm 0,76\%$  при разбросе значений доверительного интервала от 7,66 до 9,18%. При глубокой переработке зерна белого люпина происходит увеличение доли сырого протеина и сырого жира в обрубленном зерне, что приводит к росту количества обменной энергии в корме и повышению его качества. Если в необрубленном зерне содержание обменной энергии составляет 14,83 мДж или 354,26 Ккал, то при обрушении зерна количество обменной энергии в ядре семени возрастает до 16,69 мДж или 398,50 Ккал. Количество обменной энергии в оболочке зерна ниже, чем в ядре и равно 6,65 мДж или 158,87 Ккал.

Сведения о химическом составе зерна белого люпина важно для управления продукционным процессом, проведения глубокой переработки зерна с целью производства продукта, который в большей степени отвечает требованиям кормления сельскохозяйственных животных, птицы, рыбы [10]. Полученные данные являются базовыми для разработки рационов кормления, производства специализированных кормов и глубокой переработке кормов [11,12].

Полученные результаты можно использовать в качестве справочных данных для разработки рационов кормления сельскохозяйственных животных, птицы, рыбы, а также для утверждения нормативов содержания химических элементов и питательных веществ в зерне белого люпина при производстве кормов [13,14].

**Заключение.** Интенсивное потребление химических элементов позволяет белому люпину иметь уникальный химический состав зерна, а по содержанию азота, марганца и натрия культура является растением-концентратором. В зерне белого люпина накапливается большое количество азота, фосфора, калия, магния, натрия, серы, железа, цинка, марганца, кобальта, молибдена. В зерне белого люпина содержание азота, фосфора, калия, магния, серы, цинка, марганца, кобальта, молибдена больше, чем в семенах других зернобобовых культур.

Знание химического состава зерна белого люпина позволяет улучшать его качество как источника растительного белка и других питательных веществ за счёт проведения глубокой переработки. Это расширяет возможности использования зерна белого люпина в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы, а также в аквакультуре.

Полученные данные можно использовать для утверждения нормативов содержания химических элементов в зерне белого люпина и его частях с целью использования их при производстве кормов и расчёте рационов кормления сельскохозяйственных животных, птицы, рыбы.

### **Список литературы**

1. Цыгуткин, А. С. Элементный состав семян люпина белого / А. С. Цыгуткин // Российская сельскохозяйственная наука. – 2023. – № 5. – С. 21-26. – EDN PKRWTY.
2. Цыгуткин, А. С. Содержание питательных веществ в зерне белого люпина / А. С. Цыгуткин // Агрохимический вестник. – 2024. – № 4. – С. 55-60. – EDN QGPQHK.

3. Использование метода спектрофотометрии для идентификации высокоалкалоидных семян белого люпина / С. В. Зверев, В. М. Косолапов, В. Б. Зайцев [и др.] // Кормопроизводство. – 2020. – № 10. – С. 25-28. – EDN KRZTUB.
4. Природный источник марганца – белый люпин / Е. Н. Андрианова, Л. В. Кривопишина, О. А. Чванова, А. С. Цыгуткин // Птица и птицепродукты. – 2015. – № 5. – С. 47-49. – EDN VBRVWR.
5. Селицкая, О. В. Влияние изолятов клубеньковых бактерий на рост и развитие растений белого люпина / О. В. Селицкая, З. Чадраабал, А. С. Цыгуткин // Агрохимический вестник. – 2025. – № 1. – С. 67-73. – EDN WKZZWR.
6. Формирование урожайности зерна и показатели качества люпина белого (*Lupinus albus* L.) при применении селенита натрия / И. И. Серегина, А. О. Шумилин, Ю. М. Вигилянский [и др.] // Агрохимия. – 2018. – № 7. – С. 73-80. – EDN UWYNDJ.
7. Перов, А. Белый люпин: дробление, шелушение и сепарация / А. Перов, С. Зверев, А. Цыгуткин // Комбикорма. – 2014. – № 6. – С. 41-46. – EDN SEDPLX.
8. Гатаулина, Г. Г. Основа белковой независимости России / Г. Г. Гатаулина, А. С. Цыгуткин // Белый люпин. – 2014. – № 2. – С. 2-6. – EDN EZYZQU.
9. Зверев, С. В. Проблемы развития импортозамещения в сельском хозяйстве России / С. В. Зверев, А. С. Цыгуткин, Л. В. Постникова // Бухучет в сельском хозяйстве. – 2015. – № 9. – С. 7-12. – EDN UJUZGJ.
10. Использование белкового концентрата на основе белого люпина в рационах цыплят-бройлеров / И. А. Егоров, Т. В. Егорова, А. Э. Ставцев, А. С. Цыгуткин // Птица и птицепродукты. – 2017. – № 1. – С. 33-36. – EDN YIYACB.
11. Зверев, С. В. Белый люпин: обрушение и термообработка зерна / С. В. Зверев, А. Э. Ставцев, А. С. Цыгуткин. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Сам Полиграфист", 2019. – 128 с. – EDN POFVMH.



12. Зверев, С. В. Подготовка зерна белого люпина к глубокой переработке / С. В. Зверев, А. С. Цыгуткин // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. – 2014. – № 2(2). – С. 115-121. – EDN ZFICBN.

13. Использование белого люпина в экономике России / С. В. Зверев, И. А. Панкратьева, А. С. Цыгуткин, А. Л. Штеле // Хранение и переработка зерна. – 2014. – № 5(182). – С. 31-34. – EDN UJONIV.

14. Буряков, Н. П. Безалкалоидный люпин сорта Дега в кормлении коров / Н. П. Буряков, Е. О. Прохоров // Кормопроизводство. – 2017. – № 1. – С. 40-44. – EDN XQUPXH.

## **CHEMICAL COMPOSITION OF WHITE LUPINE GRAIN AS A BASIS FOR PROTEIN CONCENTRATE USED IN FEEDING FARM ANIMALS AND POULTRY**

A. S. Tsygutkin, PhD (Biology), Associate Professor

Federal State Budgetary Scientific Institution Upper Volga Federal Agricultural Research Center, All-Russian Research Institute of Organic Fertilizers and Peat - Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Upper Volga Federal Agricultural Research Center"

601390, Vladimir Region, Sudogodsky District, Vyatkino Settlement, Pryanishnikova Street, Bldg. 2

UWL2010@mail.ru

**Summary:** *The study was conducted to examine the elemental and chemical composition of the grain of three white lupine varieties: Gamma, Dega, and Deter 1. Intensive consumption of chemical elements allows white lupine to Lupine has a unique chemical composition, which indicates that the content of many chemical elements required for nutrition is significantly higher than in the seeds of other legumes. White lupine is a high-nutrient plant for nitrogen, manganese, and sodium.*

**Keywords:** *White lupine, macronutrients, micronutrients, chemicals.*

## **ДИНАМИКА ПЕРЕВАРИМОСТИ НЕЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ ПРИ ВВЕДЕНИИ В РАЦИОН РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ КАВИТИРОВАННОЙ КЛЕТЧАТКИ**

И. В. Шаврина, С. В. Лебедев

ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и  
агротехнологий РАН, Оренбург, fncbst@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье представлено исследование влияния кавитированной клетчатки различных типов на переваримость цыплятами-бройлерами кросса «Росс-308» незаменимых аминокислот. В ходе эксперимента установлено, что добавление в рационы различных дозировок отрубей пшеничных и лузги подсолнечной, подвергнутых кавитации, благотворно влияет на переваримость незаменимых аминокислот, в особенности фенилаланина.

**Ключевые слова:** птицеводство, цыплята-бройлеры, белок, незаменимые аминокислоты.

**Актуальность.** Снижение затрат на кормопроизводство при сохранении оптимального содержания белка в рационах может способствовать повышению рентабельности мясного птицеводства.

Давно известно, что дефицит белка в рационе сельскохозяйственных птиц отрицательно сказывается на их здоровье и продуктивности. Скармливание цыплятам-бройлерам рационов с высокой плотностью аминокислот способно улучшить конверсию корма, а также увеличить прирост массы и выход мяса с грудной части тушки [2].

Организм птицы способен синтезировать белковые соединения только в том случае, если в него поступают в необходимом количестве незаменимые аминокислоты [1]. Аминокислоты играют важную роль в клеточном метаболизме, поскольку практически все биохимические реакции в клетках происходят с участием аминокислотных остатков. Кроме того, аминокислоты

необходимы также для синтеза гемоглобина, адреналина, меланина и многих других важных соединений [3].

Основной целью данной работы является изучение динамики переваримости незаменимых аминокислот при введении в рацион различных форм кавитированной клетчатки. Включение данной добавки в рацион объясняется новейшими исследованиями [4 – 6], доказавшими, что её введение в рационы цыплят-бройлеров может привести к снижению кормовых затрат и повышению роста живой массы.

**Материал и методы исследования.** Экспериментальная часть исследования проводилась в виварии Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (ФНЦ БСТ РАН), г. Оренбург. Подопытные цыплята-бройлеры кросса «Росс-308» в семисуточном возрасте были распределены методом групп-аналогов на семь групп. Для обеспечения достоверной статистики численность каждой группы составила 25 голов.

Контрольная группа получала рацион, сформированный по рекомендациям ВНИТИП (2015). В качестве исследуемых добавок в рационе I, II и III опытных групп 3, 6 и 9 % зерновой части корма заменялось на пшеничные отруби, подвергнутые процессу кавитации. В рационах IV, V и VI опытных групп применялись аналогичные дозировки кавитированной лузги подсолнечника [7].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Определение усвояемости аминокислот цыплятами-бройлерами кросса «Росс-308» из кормов с вышеописанными добавками, осуществлялось путем проведения двух балансовых опытов:

- на четвертой неделе жизни птицы перед заменой ростового рациона на финишный (для того, чтобы оценить переваримость аминокислот в ростовом рационе);

- на шестой неделе жизни (для оценки переваримости аминокислот в финишном рационе).

Суть балансовых опытов заключалась в ежедневном учете массы выданного бройлерам корма и выделенного ими помета, а также отборе данных биологических субстратов. Аминокислотный состав биосубстратов определялся в лаборатории Центра коллективного пользования (ЦКП ФНЦ БСТ РАН) с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель-105М» в соответствии с ГОСТ Р 55569-2013.

На основании полученных данных была посчитана переваримость аминокислот цыплятами-бройлерами. Результаты исследования представлены в таблицах 1 – 2 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Переваримость незаменимых аминокислот в ростовом  
рационе, %

Аминокислота	Контроль	Опытная группа					
		I	II	III	IV	V	VI
Аргинин	89,6±0,52	87,1±0,70	88,0±0,92	88,6±0,52	88,2±0,61	85,6±0,48	91,4±0,52
Лизин	89,3±0,54	87,3±0,69	88,9±0,84	90,4±0,44	88,8±0,58	88,5±0,39	92,7±0,44
Фенил-аланин	90,7±0,47	89,7±0,56	91,6±0,65	92,6±0,34	91,4±0,44	90,3±0,33	94,6±0,33
Гистидин	89,8±0,51	84,9±0,81	88,6±0,87	88,5±0,53	93,8±0,32	88,7±0,38	94,8±0,32
Лейцин + изолейцин	86,4±0,68	83,2±0,91	85,9±1,08	88,0±0,55	86,4±0,70	85,8±0,48	90,7±0,56
Метионин	90,5±0,48	87,0±0,70	87,3±0,97	88,5±0,53	92,7±0,38	84,8±0,51	93,4±0,40
Валин	81,5±0,93	79,1±1,13	81,6±1,41	82,0±0,83	81,1±0,98	79,3±0,70	85,6±0,87
Треонин	80,5±0,98	77,0±1,24	79,6±1,56	82,4±0,81	81,2±0,97	79,4±0,69	86,8±0,80

Исходя из данных, представленных в таблице 1, можно сделать вывод о том, что из всех аминокислот, поступающих с ростовым рационом, в большинстве групп наиболее хорошо переваривался фенилаланин. Однако, в IV и VI опытных группах, лучшую переваримость показал глицин 93,8 и 94,8 % соответственно.

В контроле, а также в опытных группах, получавших 3 и 6 % дозировки кавитированных пшеничных отрубей, худшую переваримость и усвояемость показал треонин (77,0 – 80,5 %), а в остальных опытных группах – валин (79,3 – 85,6 %).

В целом средняя переваримость всех незаменимых аминокислот, поступающих в организм птицы с ростовым рационом, составляет 87,18 %.

Таблица 2 – Переваримость незаменимых аминокислот в финишном  
рационе, %

Амино- кислота	Контроль	Опытная группа					
		I	II	III	IV	V	VI
Аргинин	80,6±0,79	81,2±0,57	83,0±1,33	83,8±0,95	80,6±0,44	82,2±1,00	78,9±1,54
Лизин	83,4±0,68	83,3±0,51	85,7±1,11	86,6±0,78	84,6±0,35	83,0±0,95	83,2±1,23
Фенил- аланин	87,9±0,49	88,5±0,35	90,1±0,77	90,5±0,55	87,5±0,29	89,6±0,58	88,9±0,81
Гистидин	86,4±0,55	81,9±0,55	88,5±0,90	86,2±0,80	82,0±0,41	83,7±0,91	81,6±1,35
Лейцин + изолейцин	80,2±0,81	80,9±0,58	83,1±1,31	84,1±0,93	80,2±0,45	82,4±0,99	81,2±1,38
Метионин	81,5±0,75	82,3±0,54	85,2±1,15	86,4±0,79	84,1±0,36	80,2±1,11	76,9±1,69
Валин	70,2±1,22	69,4±0,93	73,4±2,07	75,6±1,42	71,0±0,66	79,3±1,16	77,7±1,63
Треонин	69,2±1,25	70,4±0,90	75,0±1,94	75,4±1,44	74,3±0,59	74,1±1,45	71,5±2,09

Анализируя данные, представленные в таблице 2, можно заключить, что из девяти определенных нами незаменимых аминокислот, поступающих в организм бройлеров с финишным рационом, лучшую переваримость показал фенилаланин (87,5 – 90,5 %). Наиболее низкую переваримость, как и в случае с ростовым рационом, показали валин (в I, II и IV опытной группах) и треонин во всех остальных группах.

Средняя переваримость всех незаменимых аминокислот, поступающих в организм цыплят-бройлеров с финишными рационами, составляет 81,23 %, что ниже ростовых значений на 5,95 %.

Как уже было сказано выше, лучшую переваримость как в ростовом, так и в финишном кормах показал фенилаланин, который играет важную роль в синтезе гормонов тироксина и адреналина [8]. В ходе лабораторных исследований, результаты которых выведены на рисунок 1, было установлено, что переваримость фенилаланина в финишном рационе была выше контрольных значений во всех опытных группах.

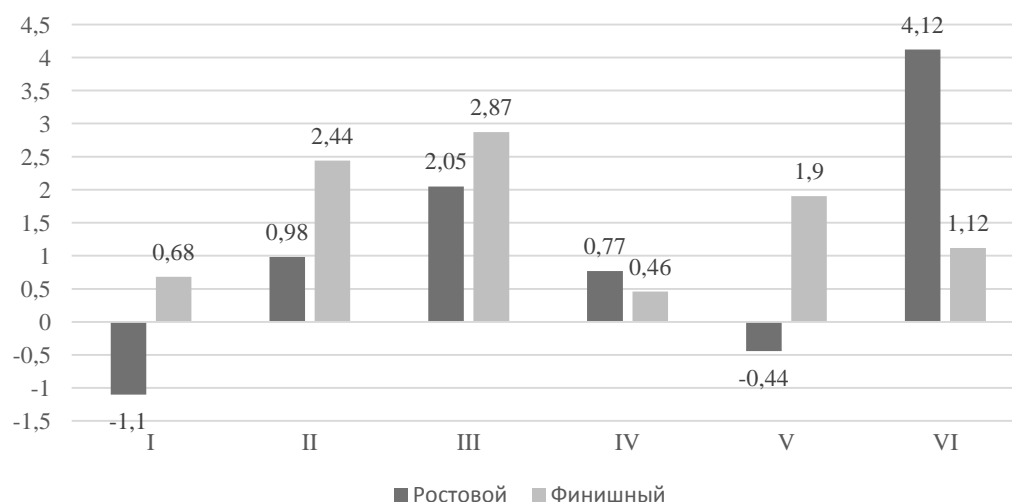


Рисунок 1 – Разница усвояемости фенилаланина относительно контрольных значений

**Заключение.** Снижение затрат на кормопроизводство является одной из приоритетных задач современных птицеводческих предприятий. Помимо благотворного влияния на здоровье и рост птицы, клетчатка также может выступать в качестве компонента, удешевляющего корм. В ходе лабораторных исследований было установлено, что включение кавитированной клетчатки в рационы цыплят-бройлеров благотворно влияет на переваримость незаменимых аминокислот, в особенности фенилаланина.

**Благодарность:** Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 25-16-00259 «Разработка новых подходов в использовании пищевых волокон для коррекции обмена веществ и микробиома у сельскохозяйственных птиц».

### Список литературы

1. Кебец А. П., Кебец Н. М. Содержание незаменимых аминокислот в плазме крови и грудной мышце цыплят-бройлеров под влиянием комплексов микроэлементов с рибофлавином и метионином // Сельскохозяйственная биология. – 2007. – №. 2. – С. 58-61.
2. Гречкина В. В. Роль аминокислот в кормлении сельскохозяйственной птицы (обзор) // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – №. 2 (94). – С. 333-336.

3. Корнилова Е. В. и др. Влияние аминокислотного состава кормов на продуктивность сельскохозяйственных животных // Научные основы стратегии развития АПК и сельских территорий в условиях ВТО. – 2014. – С. 212-214.

4. Кван, О. В. Влияние пищевых волокон на динамику живой массы и гематологические показатели цыплят-бройлеров, находящихся на полусинтетическом рационе / О. В. Кван, Е. В. Шейда, Е. А. Сизова // Птицеводство. – 2024. – № 2. – С. 29-34. – doi: 10.33845/0033-3239-2024-73-2-29-34.

5. Singh, A.K. Effects of dietary fiber on nutrients utilization and gut health of poultry: a review of challenges and opportunities / A.K. Singh, W.K. Kim // Animals. – 2021. – V. 11. – No 1. – P. 181. doi: 10.3390/ani11010181

6. Ginindza, M. Dietary crude fiber levels for optimal productivity of male Ross 308 broiler and Venda chickens aged 1 to 42 days / M. Ginindza, K.R. Mbatha, J. Ng'ambi // Animals. – 2022. – V. 12. – No 10. – P. 133. doi: 10.3390/ani12101333

7. Лебедев С. В. Влияние кавитированных пшеничных отрубей и лузги подсолнечника на рост цыплят-бройлеров / С. В. Лебедев, И. В. Шаврина // Зоотехния сегодня – приоритеты и перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. посвящ. памяти Заслуженных деятелей науки РФ Владимира Ивановича и Георгия Ивановича Левахиных (г. Оренбург, 27 марта 2025 г.) [электронный ресурс] – Оренбург: изд-во ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, 2025. – С. 48-52.

8. Гасилина В. А., Тарарина Л. И. Изучение показателей химического состава белого и красного мяса индеек в промышленных условиях Красноярского края // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2010. – №. 9. – С. 143-147.

## **THE DYNAMICS OF THE DIGESTIBILITY OF ESSENTIAL AMINO ACIDS WHEN VARIOUS FORMS OF CAVITATED FIBER ARE INTRODUCED INTO THE DIET**

I. V. Shavrina, S. V. Lebedev

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, fncbst@mail.ru

**Summary.** *This article presents a study of the effect of cavitated fiber of various types on the digestibility of essential amino acids by broiler chickens of the Ross-308 cross. During the experiment, it was found that the addition of wheat bran and sunflower husk subjected to cavitation to diets of various dosages has a beneficial effect on the digestibility of essential amino acids, especially phenylalanine.*

**Keywords:** *poultry farming, broiler chickens, protein, essential amino acids.*

УДК 636.5.034:637.661

## **ОЦЕНКА БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КУР-НЕСУШЕК ПРИ ОБОГАЩЕНИИ РАЦИОНА РАЗНЫМИ ФОРМАМИ КЛЕТЧАТКИ**

И.Д. Яловенко, С.В. Лебедев

ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологии Российской академии наук, Оренбург, yalovenko-02@mail.ru

**Аннотация:** *Статья посвящена оценке биохимических показателей крови кур-несушек кросса «Хайсекс Браун» при включении в рацион различных форм клетчатки. По полученным результатам показатели общего белка и альбуминов во всех опытных группах превосходили контрольные значения, а данные холестерина и триглицеридов были значительно выше в контрольной группе.*

**Ключевые слова:** *Клетчатка, птица, куры-несушки, пищевые волокна, рацион, кровь.*

**Актуальность.** Птицеводство является важной отраслью сельского хозяйства, обеспечивающая население ценными пищевыми ресурсами [1]. Одним из ключевых факторов в поддержании высокой продуктивности, а также здоровья кур-несушек является сбалансированное питание, в составе которого находится клетчатка [2].



Различные формы клетчатки оказывают влияние на физиологическое состояние организма птицы, включая метаболизм, пищеварительные процессы и иммунную систему [3]. Важно понимать, механизм влияния клетчатки на морфо-функциональное состояние организма, в частности биохимический статус.

Цель исследования – изучение показателей крови кур-несушек при включении в рацион разных форм клетчатки. Полученные результаты позволят разработать рекомендации по применению кормовых добавок на основе целлюлозной матрицы, способствующие повышению продуктивности и улучшения общего состояния животных.

**Материал и методы исследования.** Объектом исследования выступали куры-несушки породы Хайсекс- Браун в возрасте от 300 до 390 суток.

Комплексные исследования были проведены на базе отдела физиологии, биохимии и морфологии животных «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук».

Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН.

Схема эксперимента. Для проведения исследований методом групп-аналогов из 175 голов кур-несушек были сформированы 5 групп. Контрольная группа содержалась на основном рационе, в соответствии с рекомендациями ВНИТИП (2015). В основной рацион I опытной группы за счет зерновой части вводили препарат «Целлюлоза микрокристаллическая» в дозе 1 г/кг корма, во II опытную – препарат «Арбоцел» в дозе 5 г/кг, III опытную группу – препарат «Фибраксин» в дозе 1,5 г/кг, IV опытную группу – препарат «Фитомуцил» в дозе 2,5 г/кг. Приготовления комбикорма проводилось с использованием метода ступенчатого смешивания.

Условие кормления и содержания соответствовало рекомендациям по работе с кроссом Хайсекс Браун [4].

**Результаты исследований и их обсуждение.** На основании проведенных лабораторных исследований установлено влияние вводимой клетчатки в рацион кур-несушек на белковый обмен (рис.1) и липидный обмен (рис.2).

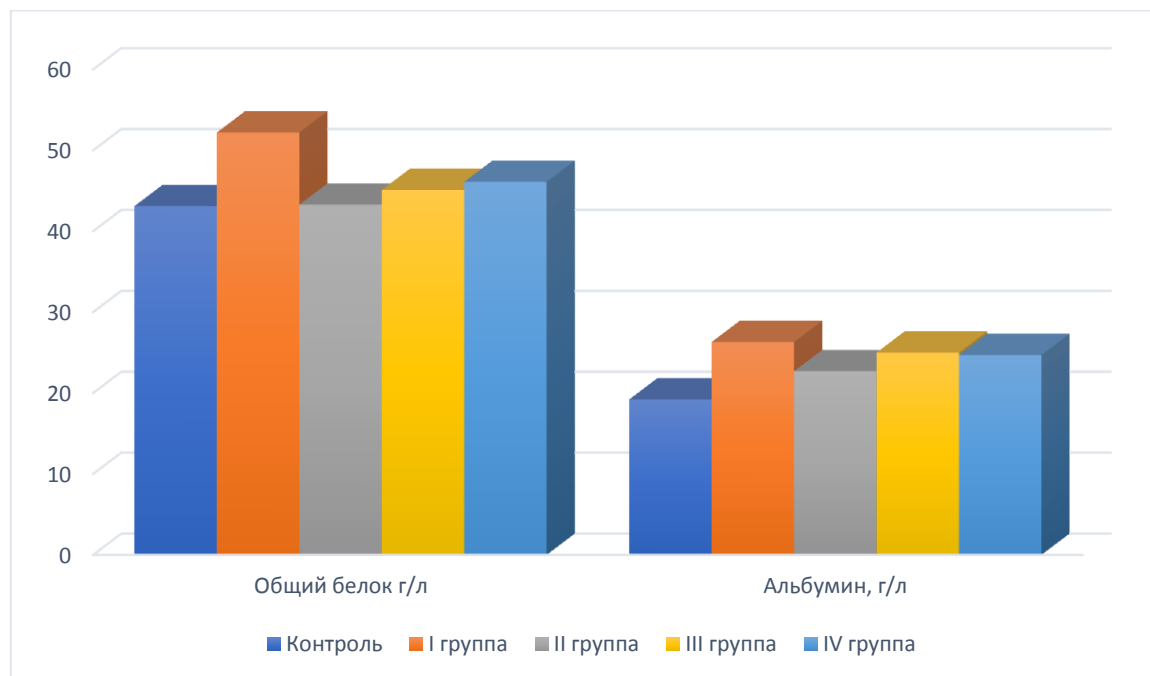


Рис.1 – Белковый обмен крови кур-несушек

Установлено, что показатели общего белка в опытных группах были выше по сравнению с контрольной группой на 21%, 0,3%, 4,6% и 6,86%. Показатели альбумина в опытных группах также превышал контрольные значения соответственно на 37,1%, 18,1%, 30,2% и 28,5%.

Изменения данных показателей свидетельствует о том, что включение в рацион клетчатки способствует лучшему усвоению компонентов корма богатых белками, за счет усиления перистальтики кишечника и увеличению продолжительности прохождения корма по желудочно-кишечному тракту [5].

К тому же растворимая клетчатка обладает эффектом пребиотика, что в свою очередь является субстратом для полезной микрофлоры, таких как *Bacteroides*, *Faecalibacterium*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* и др. А нерастворимая клетчатка, за счет своей структуры раздражает слизистую оболочку кишечника, это способствует выработки жидкости и слизи в его просвете. Вместе с тем волокна нерастворимой клетчатки имеют способность

поглощать воду, образуя каловые массы, а слизь облегчает и ускоряет их прохождение, что в свою очередь препятствует образованию патогенных бактерий [6].

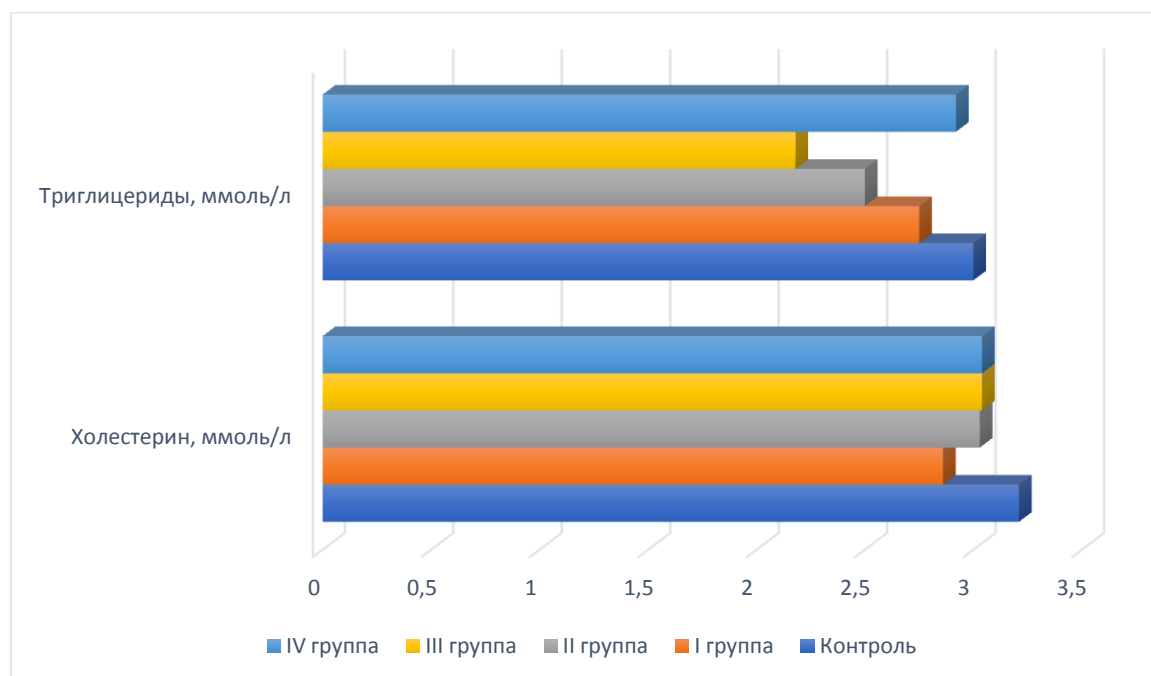


Рис. 2 – Липидный обмен крови кур-несушек

Показатели холестерина и триглицеридов в контрольной группе превосходили показатели I группы результаты на 11% и 8,4%, во II группе на 5,6% и 16,6%, в III группе на 5,3% и 27,3% и в IV группе на 5,3% и 2,7%. Это объясняется тем, что пищевые волокна имеют способность прикрепляться к жировым частицам и препятствуют их усвоению, а усиленная работа перистальтики кишечника быстро выводит эти частицы из организма [7].

**Заключение.** Установленный положительный эффект включения разных форм клетчатки в рацион, расширяет знания о биологическом воздействии волокон клетчатки на организм сельскохозяйственной птицы, а также о перспективности их использования.

По полученным результатам показатели общего белка и альбуминов во всех опытных группах превосходили контрольные значения, а данные холестерина и триглицеридов были значительно выше в контрольной группе.

Это объясняется тем, что препараты, содержащие компоненты нерастворимой клетчатки, освобождают организм от побочных продуктов и остатков пищи, создавая благоприятные условия для микробиоты. В свою очередь компоненты растворимой клетчаткой образуются в гелеобразное вещество, за счет взаимодействия с водой и желудочным соком и по мере продвижения по желудочно-кишечному тракту увеличивается в размерах и замедляет процесс переваривания.

**Благодарность:** *Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 25-16-00259 «Разработка новых подходов в использовании пищевых волокон для коррекции обмена веществ и микробиома у сельскохозяйственных птиц».*

### Список литературы

1. Ricke SC. Prebiotics and alternative poultry production. Poult Sci. 2021 Jul;100(7):101174. doi: 10.1016/j.psj.2021.101174.
2. Singh AK, Kim WK. Effects of Dietary Fiber on Nutrients Utilization and Gut Health of Poultry: A Review of Challenges and Opportunities. Animals (Basel). 2021 Jan 14;11(1):181. doi: 10.3390/ani11010181.
3. Jha R, Mishra P. Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review. J Anim Sci Biotechnol. 2021 Apr 19;12(1):51. doi: 10.1186/s40104-021-00576-0.
4. Руководство по работе с птицей кросса Хайсекс браун / Т. А. Хмельницкая, С. В. Саппинен, О. А. Трошкова [и др.]. – Кашино: ОАО ППЗ "Свердловский", 2007. – 78 с. – EDN SDOLDZ.
5. Tejeda O, Kim W. Role of Dietary Fiber in Poultry Nutrition. Animals (Basel). 2021 Feb 9;11(2):461. doi: 10.3390/ani11020461.
6. Han X, Ma Y, Ding S, Fang J, Liu G. Regulation of dietary fiber on intestinal microorganisms and its effects on animal health. Anim Nutr. 2023 Jun 22;14:356-369. doi: 10.1016/j.aninu.2023.06.004.
7. Cui X, Gou Z, Jiang Z, Li L, Lin X, Fan Q, Wang Y, Jiang S. Dietary fiber modulates abdominal fat deposition associated with cecal microbiota and metabolites

in yellow chickens. Poult Sci. 2022 Apr;101(4):101721. doi: 10.1016/j.psj.2022.101721.

## **ASSESSMENT OF THE BIOCHEMICAL STATE OF LAYING HENS WHEN ENRICHING THE DIET WITH VARIOUS FORMS OF FIBER**

Ivan D. Yalovenko, Svyatoslav V. Lebedev

Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

**Summary:** *The article is devoted to the assessment of the biochemical parameters of the blood of laying hens of the Hysex Brown cross when various forms of fiber are included in the diet. According to the results, the total protein and albumin values in all experimental groups exceeded the control values, and the cholesterol and triglyceride values were significantly higher in the control group.*

**Keywords:** *Fiber, poultry, laying hens, dietary fiber, diet, blood.*

# **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИОЛОГИИ ПИТАНИЯ**

## **Сборник материалов**

**Международной научно-практической конференции,  
посвящённой 100-летию со дня рождения член-корреспондента  
ВАСХНИЛ, профессора Валерия Ивановича Георгиевского**

**Москва, 30-31 октября 2025**

**Редакторы:** заведующий кафедрой физиологии, этологии и биохимии животных, д.б.н. Вертипрахов В.Г., доцент, к.б.н. Сергеенкова Н.А., к.п.н., доцент, Л.В. Верзунова.

Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, кафедра физиологии, этологии и биохимии животных, 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 52. [vertiprahov@rgau-msha.ru](mailto:vertiprahov@rgau-msha.ru)