

МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ / MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, BIOCHEMISTRY

Научная статья / Scientific article

УДК 636.32/.38.084.1:591.132.5

DOI: 10.26897/2074-0840-2026-2-44-50

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНА У БАРАНЧИКОВ НА РАПСОВОМ И ЛЮПИНОВОМ РАЦИОНАХ

Ю.А. ЮЛДАШБАЕВ✉, С.В. КАРАМУШКИНА, Е.А. МУРАДЯН

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

✉ yuldashbaev@rgau-msha.ru

FEATURES OF MINERAL METABOLISM IN YOUNG RAMS ON RAPESEED AND LUPINE DIETS

YU.A. YULDASHBAEV✉, S.V. KARAMUSHKINA, E.A. MURADYAN

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,
Russian Federation, Moscow; ✉ yuldashbaev@rgau-msha.ru

Аннотация. В работе представлены результаты хронического физиологического эксперимента с использованием в качестве альтернативных источников протеина семян рапса и люпина белого. Методом периодов на фистулированных баранчиках при интенсивном откорме изучена постпрандиальная динамика кальция и фосфора в дуоденальном химусе и крови при введении в рацион (30% от концентратов) экспериментальных белковых кормов. Установлено, что низкоалкалоидный люпин метаболически безопасен, сохраняет нормальный обмен кальция и фосфора как на уровне кишечника, так и в сыворотке крови. Семена рапса блокируют рефлекторное выделение элементов с пищеварительными соками в сложнорефлекторную фазу пищеварения, снижая уровень кальция на 22,1% и фосфора на 18,6% ($p < 0,001$) по отношению к контролю. В рубцовую фазу пищеварения при всасывании минеральных веществ из кишечника: экспериментальные корма формируют «транзитный фитатный блок», при котором концентрация кальция и фосфора увеличивается в химусе, но в кровь они не всасываются, что снижает фосфор крови на 40,1%. Одновременно наблюдается компенсаторный лейкоцитоз (рост WBC в 3,05 раза; связь $r = -0,91$; $p < 0,001$).

Ключевые слова: баранчики; белый люпин; семена рапса; дуоденальный химус; фосфор; фитатный блок

Summary. This paper presents the results of a chronic physiological experiment using rapeseed and white lupine as alternative protein sources. Using the period method, postprandial calcium and phosphorus dynamics in duodenal chyme and blood were studied in fistulated rams during intensive fattening after the introduction of experimental protein feeds (30% of concentrates) into the diet. Low-alkaloid lupine has been shown to be metabolically safe, maintaining normal calcium and phosphorus metabolism both in the intestines and in the blood serum. Rapeseed inhibits the reflex release of elements via digestive juices during the complex reflex phase of digestion, reducing calcium levels by 22,1% and phosphorus by 18,6% ($p < 0,001$) relative

to the control. During the rumen phase of digestion, during intestinal mineral absorption, experimental feeds form a “transit phytate block,” in which calcium and phosphorus concentrations increase in the chyme but are not absorbed into the blood, reducing blood phosphorus by 40,1%. Compensatory leukocytosis is also observed (WBC increase by 3.05 times; correlation $r = -0,91$; $p < 0,001$).

Keywords: young rams; white lupin; rapeseed seeds; duodenal chyme; phosphorus; phytate block

Введение. Интенсификация отечественного овцеводства и перевод отраслевых предприятий на эффективные технологии откорма требуют оптимизации структуры рационов молодняка. Сегодня одна из главных задач кормопроизводства – найти и успешно внедрить доступные растительные источники белка, которые смогут стать полноценной альтернативой импортным компонентам [1]. При интенсивном выращивании баранчиков скорость прироста живой массы находится в прямой зависимости не только от протеиновой обеспеченности, но и от стабильности макро-минерального баланса. Кальций и фосфор выступают главными пластическими элементами для формирования скелета и обеспечения сократительной функции мышечной ткани, а также служат важнейшими компонентами систем внутриклеточной энергетики (АТФ) и поддержания кислотно-основного гомеостаза рубцовой жидкости и крови [2].

В качестве альтернативы традиционным соевым продуктам в кормлении жвачных животных всё активнее рассматриваются семена рапса (*Brassica napus*) и белого люпина (*Lupinus albus*). Однако использование данных культур лимитируется присутствием в них специфических антипитательных факторов. Корма из рапса богаты фитиновыми соединениями,

которые прочно связывают двух- и трехвалентные ионы металлов в желудочно-кишечном тракте [3]. Как отмечают Humer et al. (2015) и Chondrou et al. (2024), кормовая фитиновая кислота кардинально снижает биодоступность микро- и макроэлементов в ЖКТ, требуя глубокой дефитинизации. Кроме того, семена рапса способны оказывать регуляторное влияние на экзокринную деятельность пищеварительных желез, изменяя объем и ферментативный профиль секретов [4]. В свою очередь, использование люпина ограничивается присутствием хинолизидиновых алкалоидов, которые представляют серьезные риски для здоровья и метаболического статуса животных, подавляя нервную проводимость и секреторную активность органов пищеварения [5].

Несмотря на обилие исследований по изучению фитатов у моногастричных животных [6], динамика и механизмы обмена кальция и фосфора в кишечнике овец при использовании нетрадиционных кормов остаются малоизученными. В частности, практически нет данных о том, как меняется концентрация этих минералов в дуоденальном химусе в различные фазы пищеварения [7], что не позволяет объективно оценить их реальное поступление и всасывание в кровь. При этом, если на птице подобные механизмы и влияние рапса на экзокринную функцию желез частично изучены в работах С.С. Сергиенковой и В.Г. Вертипрахова (2009), то у жвачных животных влияние природы корма на рефлекторное выделение соков и начальную концентрацию кальция и фосфора в дуоденальном химусе остается практически неисследованным.

Цель работы – установить закономерности изменения концентрации кальция и фосфора в дуоденальном химусе и сыворотке крови, а также особенности гематологического статуса баранчиков на интенсивном откорме при замене концентратной части рациона семенами рапса и люпина белого в различные фазы пищеварения.

Данная работа базируется на ранее изученной нами модели использования соевого шрота [8]. В настоящем исследовании впервые изучена динамика концентрации кальция и фосфора в дуоденальном химусе баранчиков на интенсивном откорме в разные стадии постпрандиального периода при введении в рацион семян рапса и люпина белого.

Методы исследования. Исследование выполнено на базе РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, Российская Федерация), на кафедре физиологии, этологии и биохимии животных факультета ветеринарной медицины и биотехнологии.

Протокол эксперимента и хирургические операции одобрены Комиссией по биоэтике университета (протокол № 71 от 04 декабря 2025 г.). Все манипуляции

с животными проводились в соответствии с требованиями «Руководства по содержанию и использованию лабораторных животных» (FASS, 2010) и Директивой ЕС 2010/63/EU [9].

Объектом исследования служили 4 баранчика эдильбаевской породы в возрасте 5-6 мес., массой тела 38-45 кг. Животные содержались в индивидуальных боксах с решётчатым полом в условиях естественной освещённости и температурного режима +15...+18°C. В каждом боксе имелись автоматические поилки и кормушки. Баранчики имели свободный доступ к воде.

За 20 дней до начала эксперимента всем животным под общей анестезией (ксилазин 2% + кетамин 10%) была выполнена фистулозная операция на дуоденум по методу А.А. Алиева [10] с модификациями. Фистула позволяла отбирать дуоденальный химус в любой момент пищеварения без нарушения целостности пищеварительного тракта.

В связи с ограниченным числом оперированных животных и необходимостью получения достоверных данных при хроническом воздействии рационов эксперимент проводился методом периодов на одних и тех же баранчиках.

Каждый экспериментальный период составлял 14 суток: 7 суток адаптации к рациону и 7 суток учётного периода, в течение которого проводились отборы проб.

Восстановительные периоды (10 суток) между опытными периодами обеспечивали выведение метаболитов предыдущего рациона и возвращение показателей к базальному уровню. Изобелковость всех экспериментальных рационов составляла 14% сырого протеина от сухого вещества.

Дуоденальный химус отбирался через фистулу в три временные точки в последние 7 суток каждого экспериментального периода: натощак (после 12-ти часовой голодной выдержки) через 1 час после кормления сложнорефлекторная фаза и через 5 часов после кормления рубцовая или нейрогуморальная фаза регуляции кишечного пищеварения. Кровь из яремной вены отбиралась натощак.

Концентрация кальция и фосфора в дуоденальном химусе определялась на полуавтоматическом биохимическом анализаторе BS-3000M («Sinnova», КНР) с использованием наборов биохимических реагентов для ветеринарии «ДиаВетТест» (ООО «ДИА-ВЕТ», Россия). Концентрация кальция и фосфора

Таблица 1. Схема опыта

Table 1. Scheme of experience

Период	Рацион	Длительность
Контрольный	Сено + ОК-80(100%)	14 суток
1 опытный	Сено + ОК-80 (70%) + люпин белый (30%)	14 суток
Восстановительный	Сено + ОК-80	10 суток
2 опытный	Сено + ОК-80 (70%) + рапс (30%)	14 суток

в сыворотке крови определялась на автоматическом биохимическом анализаторе BioChem FC-120 («High Technology, Inc.», США) с использованием стандартных наборов реагентов.

В связи с ограниченным числом оперированных животных ($n = 4$), применённых в хроническом эксперименте методом периодов, статистическую мощность исследования повышали путём многократных повторных измерений. В течение 7-суточного учётного периода отбор проб проводился ежедневно, в результате чего для каждой группы (периода) было получено 28 наблюдений (4 животных $\times 7$ дней) по каждой временной точке.

Статистический анализ выполнен с помощью пакета R версии 4.3.1. Достоверность различий между периодами оценивалась с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок при нормальном распределении (проверено тестом Шапиро–Уилка). Уровень значимости принят при $p < 0,05$. Результаты представлены как среднее арифметическое $\pm$ стандартное отклонение ($M \pm SD$).

Результаты исследования. Особенности минерального обмена у подопытных баранчиков при введении в рацион различных альтернативных источников протеина изучались по сквозной схеме: от динамики поступления кальция и фосфора в составе дуоденального химуса до интенсивности их всасывания в кровь, оцениваемой по конечной концентрации минералов в сыворотке.

В ходе комплексного скрининга «химус – сыворотка крови» по фазам пищеварения (методом периодов) были выявлены следующие ключевые закономерности (рис. 1). В фазу базисной секреции (8:00) обе опытные группы демонстрируют идентичный и высокодостоверный спад концентрации кальция в кишечном содержимом. При использовании белого люпина уровень кальция оказался ниже контрольного периода на 12,1%, а при скормливания рапса – на 11,5%. В сложнорефлекторную фазу (9:00) наблюдаются разнонаправленные изменения. Концентрация кальция при введении в рацион люпина составляет всего 3,2% от контрольных значений (разница статистически

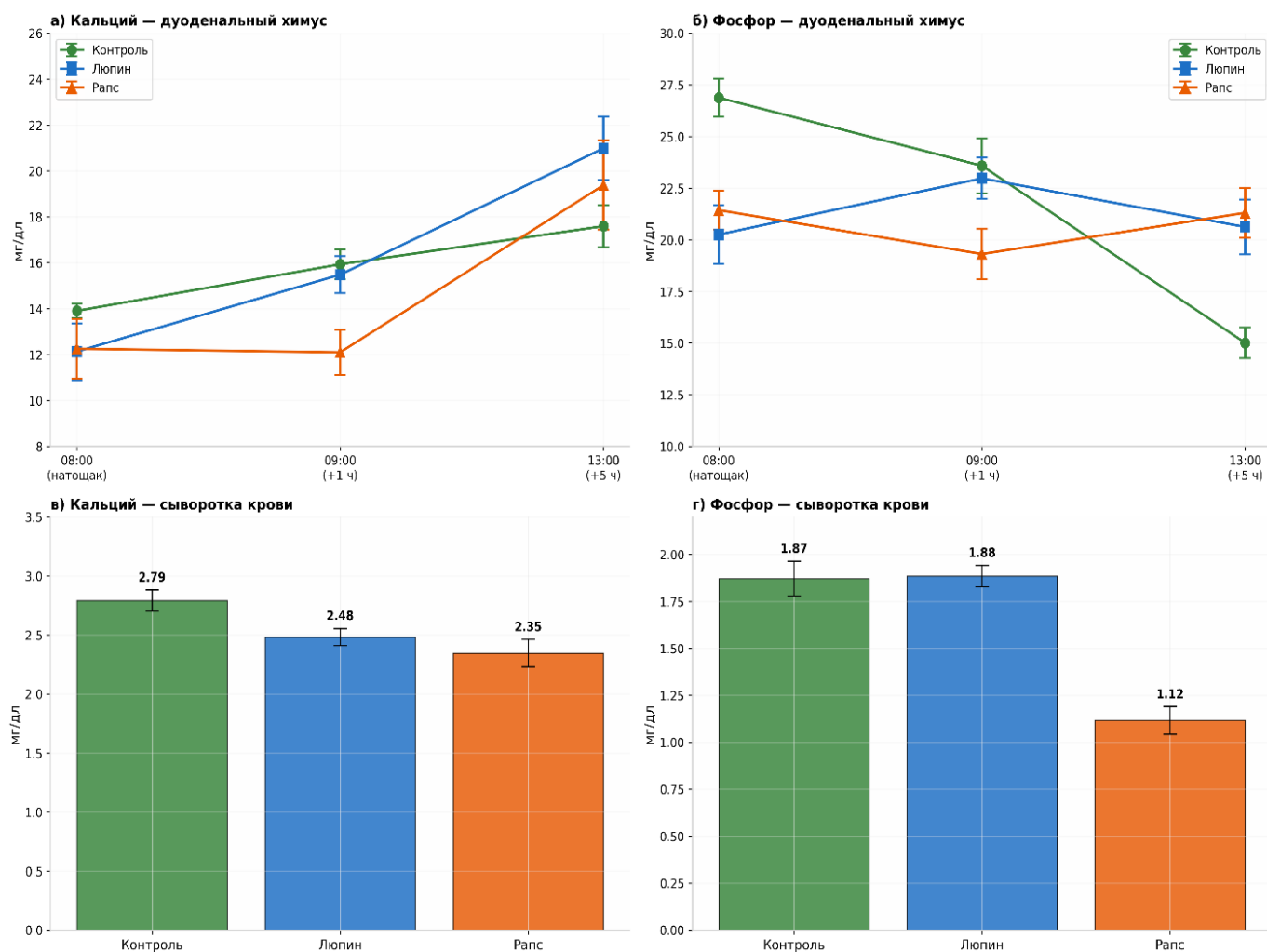


Рис. 1. Динамика кальция и фосфора в дуоденальном химусе и сыворотке крови баранчиков при введении в рацион альтернативных источников протеина

Fig. 1. Dynamics of calcium and phosphorus in the duodenal chyme and blood serum of lambs when alternative protein sources are added to the diet

не значима). В то же время мы наблюдаем падение концентрации кальция в химусе на 22,6% по сравнению с контролем при введении в рацион рапса. В рубцовую фазу (13:00) концентрация кальция в химусе в период использования белого люпина превышает контроль на 18,8%, а в период использования рапса – на 10,2%.

При анализе метаболизма неорганического фосфора наблюдается тенденция, во многом подобная динамике кальция, за исключением рубцовой (нейрогуморальной) фазы пищеварения. Натощак в обеих опытных группах наблюдается снижение концентрации элемента в химусе (падение на 24,7% на люпине и на 20,2% на рапсе относительно контроля).

Через 1 час после кормления белый люпин за счет отсутствия антипитательных факторов обеспечивает полноценный сложнорефлекторный подъем фосфора до уровня контроля (отставание всего 2,6%), тогда как рапс блокирует этот ответ, снижая показатели фосфора на 18,1% от контроля. Однако в рубцовую фазу пищеварения (13:00, через 5 часов после кормления) концентрация фосфора в опытные периоды резко возрастает, превышая контроль на 37,4% (люпин) и 42,0% (рапс) (табл. 2).

При рационе с люпином отмечалась достоверная лейкопения (–37,0%), тогда как при рапсовом рационе развивался выраженный лейкоцитоз (+205,3%) по сравнению с контрольными показателями. Достоверные различия между опытными группами ($p < 0,05$) свидетельствуют о принципиально разных эффектах антипитательных веществ на иммунный статус. Показатель RDW-CV достоверно снижался при рапсовом рационе ($13,23 \pm 0,06\%$; $p < 0,001$), что указывает на уменьшение анизоцитоза. Остальные морфологические показатели (гемоглобин, гематокрит, эритроциты) достоверных различий не выявили.

Построенный график (рис. 2) наглядно показывает взаимосвязь между минеральным обменом и реакцией системы белой крови у подопытных баранчиков. Диаграмма рассеяния с линией регрессии математически подтверждает наличие сильной обратной (отрицательной) связи между уровнем неорганического фосфора в сыворотке крови и количеством лейкоцитов ($r = -0,91$; при высоком уровне достоверности ($p < 0,001$)).

Обсуждение результатов. Характер поступления и абсорбции макроэлементов в дуоденальном химусе баранчиков обнаружил строгую зависимость как от фазы

пищеварения, так и от химического состава изучаемых белковых культур.

Главной особенностью базального периода (8:00, натощак) во всех исследуемых группах явилось выраженное превышение концентрации кальция и фосфора в кишечном содержимом по сравнению с показателями рубцовой фазы. С физиологической точки зрения данный феномен уникален для жвачных животных и детально описан в наших более ранних работах [7]. Высокая концентрация минеральных элементов в химусе двенадцатиперстной кишки в базальный период обусловлена стабильным поступлением эндогенных фосфатов с непрерывно секретируемой слюной, а также кальция с секретами гепатобилиарной системы на фоне минимального объема жидкого содержимого в просвете кишечника [8].

Таблица 2. Морфологические показатели крови при экспериментальных рационах ($n = 4$)

Table 2. Morphological indicators of blood under experimental diets ($n = 4$)

Показатель	Экспериментальные периоды		
	контрольный (основной рацион)	1 опытный (люпин белый 50%)	2 опытный (рапс 50%)
Лейкоциты (WBC),	$6,93 \pm 0,64$ (Cv = 15,9%)	$4,37 \pm 0,52^*$ (Cv = 20,5%)	$21,17 \pm 4,36^*$ (Cv = 35,7%)
Эритроциты (RBC),	$8,34 \pm 0,47$ (Cv = 9,8%)	$8,55 \pm 0,35$ (Cv = 7,2%)	$8,13 \pm 0,48$ (Cv = 10,2%)
Гемоглобин (HGB), г/л	$102,67 \pm 9,02$ (Cv = 15,2%)	$107,67 \pm 6,96$ (Cv = 11,2%)	$104,00 \pm 12,58$ (Cv = 20,9%)
Гематокрит (HCT), %	$30,20 \pm 2,21$ (Cv = 12,7%)	$32,73 \pm 1,80$ (Cv = 9,5%)	$30,90 \pm 2,91$ (Cv = 16,3%)

Примечание: *различия с контрольным периодом статистически значимы при $p < 0,05$ (по t-критерию Стьюдента для парных выборок).

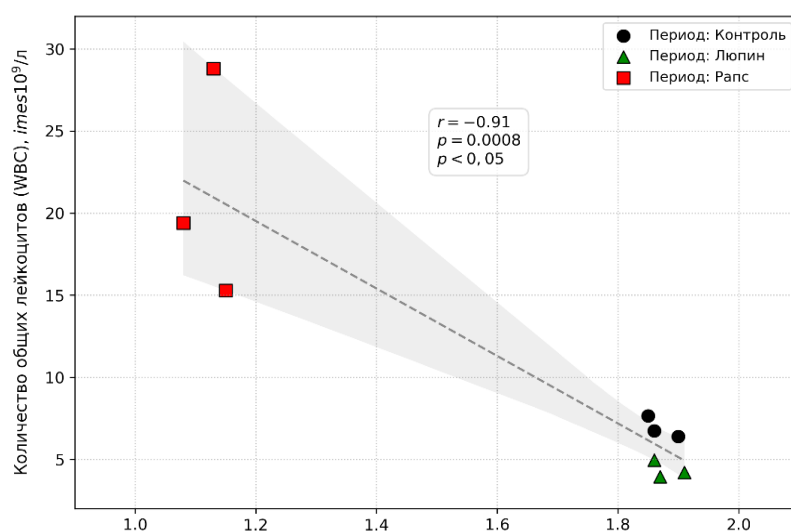


Рис. 2. Зависимость количества общих лейкоцитов от концентрации неорганического фосфора в сыворотке крови баранчиков при использовании различных источников протеина (коэффициент линейной корреляции Пирсона)

Fig. 2. Dependence of the total leukocyte count on the concentration of inorganic phosphorus in the blood serum of lambs when using different sources of protein (Pearson linear correlation coefficient)

Однако замена соевого белкового компонента (контроль) на альтернативные источники протеина привела к достоверному снижению базального уровня Са и Р в химусе на 11,5-24,7% ($p < 0,001$). Это доказывает наличие пролонгированного системного влияния опытных кормов на тонус вегетативной нервной системы и согласуется с данными ряда исследователей, отмечавших временное угнетение экзокринного тонуса печени и поджелудочной железы при введении в рацион животных новых кормовых компонентов с высоким удельным весом специфических полисахаридов или остаточных алкалоидов [11, 12].

Существенные различия в минеральном обмене проявились в сложнорефлекторную фазу (9:00, через 1 час после кормления). При люпиновом рационе у животных активизируется полноценный нейрогуморальный ответ через блуждающий нерв (n. vagus). Раздражение рецепторов ротовой полости вызывает мощную сокогонную реакцию, что позволило кальцию и фосфору в химусе практически полностью компенсировать базальный дефицит и выйти на уровень контроля (отставание всего 2,6-3,2%). Использование современного сорта белого люпина, характеризующегося селекционно сниженным количеством алкалоидов, гарантирует сохранность холинергической стимуляции желез [13]. Это так же подтверждает выводы Gresta F., et al. (2023) о высокой биологической доступности и аттрактивности современных сладких сортов белого люпина (*Lupinus albus*) отечественной и зарубежной селекции. За счет низкого содержания алкалоидов они не оказывают блокирующего действия на вагусную иннервацию ЖКТ [14].

При рапсовом рационе концентрация элементов в сложнорефлекторную фазу пищеварения падает до минимума (снижение к контролю на 22,6% по Са и на 18,1% по Р). Это свидетельствует о том, что биологически активные вещества рапса подавляют рефлекторную деятельность, либо содержащаяся в нем фитиновая кислота моментально связывает ионы металлов в нерастворимые комплексы уже в момент первичного контакта корма со слюной [15]. Подобный сбой нейрогуморальной регуляции в цефалическую фазу описывают Chondrou T., et al. (2024), связывая его со способностью свободной фитиновой кислоты рапса моментально связывать ионы металлов в нерастворимые комплексы при первичном контакте корма со слюной [16].

Обобщая показатели дуоденального содержания и сыворотки крови в рубцовую фазу пищеварения, можно объективно судить об интенсивности процессов всасывания макроэлементов в кишечнике. При люпиновом рационе высокий уровень кальция и фосфора в химусе полностью соответствует их высокой концентрации в кровеносном русле, что указывает на эффективную и беспрепятственную резорбцию минералов энтероцитами. Подобная динамика указывает на снижение раздражения слизистой

оболочки кишечника и уменьшение антигенной нагрузки на организм благодаря низкому содержанию антипитательных факторов в белом люпине [17].

При рапсовом рационе наблюдается обратная картина: колоссальный избыток элементов в химусе сочетается с их резким дефицитом в сыворотке крови (падение фосфора на 40,1%). Такая диспропорция доказывает, что процессы всасывания в двенадцатиперстной кишке баранчиков полностью заблокированы «транзитным фитатным блоком» – макроэлементы находятся в химически связанной форме и проходят кишечник транзитом, не усваиваясь организмом.

Следствием выраженного дефицита макроэлементов явилось резкое увеличение количества лейкоцитов в крови на 205,5% (в 3,05 раза), превысившее верхнюю границу физиологической нормы для данного вида животных. Подобная реакция системы крови, по-видимому, обусловлена локальным раздражением слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки нерасщепленными фитиновыми соединениями и развитием сопутствующего энергодифицита на клеточном уровне [18].

Корреляционный анализ по Пирсону позволил установить тесную взаимосвязь между процессами в желудочно-кишечном тракте и показателями крови. Высокая отрицательная корреляция ($r = -0,91$) свидетельствует о том, что снижение концентрации фосфора в крови служит ключевым триггером резкого увеличения количества лейкоцитов. Это согласуется с фундаментальными исследованиями ученых Утрехтского университета Eisenberg S.W.F., et al. (2019), Grünberg W. (2014), [20, 21]. Физиологический механизм данной связи обусловлен тем, что дефицит фосфатов в сыворотке крови при рапсовом рационе нарушает внутриклеточный синтез АТФ в лейкоцитах. Возникающий энергетический дефицит снижает жизнеспособность лейкоцитов, что по принципу обратной связи активирует кроветворную систему баранчиков. Костный мозг начинает компенсаторно и массово выбрасывать новые генерации лейкоцитов в кровеносное русло для поддержания иммунологического гомеостаза [22].

В то же время при использовании белого люпина показатели фосфора и лейкоцитов остаются в границах физиологической нормы, что доказывает высокую биодоступность макроэлементов и безопасность данной культуры для организма овец.

Заключение. 1. Включение в рацион баранчиков низкоалкалоидного белого люпина метаболически безопасно. В рубцовую фазу пищеварения культура обеспечивает стабильное поступление кальция (+18,8% к контролю) и фосфора (+37,4%) в дуоденальный химус, полностью сохраняя минеральный гомеостаз крови и физиологическую норму лейкоцитов.

2. Введение в рацион семян рапса в количестве 30% от концентратной части приводит к выраженному

нарушению минерального обмена. Данный уровень замещения блокирует рефлекторное выделение элементов через 1 час после кормления и формирует «транзитный фитатный блок» к 5-му часу. При этом кальций и фосфор переполняют химус кишечника, но не всасываются, что вызывает дефицит фосфора в крови (на 40,1%) и провоцирует защитный лейкоцитоз (рост WBC в 3,05 раза).

Полученные результаты позволяют научно обосновать эффективность использования зерна белого люпина отечественной селекции с низким содержанием алкалоидов в качестве полноценной импортозамещающей альтернативы соевым продуктам при интенсивном откорме баранчиков. Физиологическая оценка рапсового компонента в рационе позволяет своевременно выявить риски нарушения минерального гомеостаза овец и разработать рекомендации по оптимизации рационов с использованием нетрадиционных кормовых культур.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликтов интересов. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-26-00666 от 18.02.2026 г.).

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflicts of interest. The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 25-26-00666 dated 18.02.2026).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Морозова В.А. Альтернативные источники протеина в животноводстве • *Ветеринария и кормление*, 2022. № 2. С. 32-37.

Morozova V.A. Alternative protein sources in animal husbandry • *Veterinary medicine and feeding*, 2022. No. 2. Pp. 32-37.

2. Giacona J.M., Afridi A., Petric U.B. et al. Association between dietary phosphate intake and skeletal muscle energetics in adults without cardiovascular disease • *Journal of Applied Physiology*, 2024. Vol. 136, No. 4. Pp. 1007-1014. DOI: 10.1152/jappphysiol.00818.2023.

3. Егорова Т.А. Глюкозинолаты рапса и рыжика: состав, концентрации, токсичность и антипитательность для птицы, методы нейтрализации – мини-обзор • *Сельскохозяйственная биология*, 2023. Т. 58. № 6. С. 1021-1034. DOI 10.15389/agrobiology.2023.6.1021rus. – EDN: GTRSLs.

Egorova T.A. Rapeseed and camelina glucosinolates: composition, concentration, toxicity, and anti-nutritional properties for poultry, neutralization methods – a mini-review • *Agricultural Biology*, 2023. Vol. 58, No. 6. Pp. 1021-1034. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.6.1021rus. EDN: GTRSLs.

4. Вертипрахов В.Г., Цуканова Е.С. Влияние семян рапса с разным содержанием эруковой кислоты на секреторную функцию поджелудочной

железы кур • *Вестник КрасГАУ*, 2009. № 8 (35). С. 110-113. EDN: KWQBUF.

Vertiprakhov V.G., Tsukanova E.S. Influence of rapeseed seeds with different content of erucic acid on the secretory function of the pancreas in chickens • *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2009. No. 8 (35). Pp. 110-113. EDN: KWQBUF.

5. Сидоров В.В. Минеральный статус овец при скормливании рационов на основе люпина • *Физиология и биохимия животных*, 2020. Т. 46. № 3. С. 312-318.

Sidorov V.V. Mineral status of sheep fed lupin-based diets • *Animal Physiology and Biochemistry*, 2020. Vol. 46. No. 3. Pp. 312-318.

6. Selle P.H., Ravindran V., Caldwell R.A., Bryden W.L. Phytate and phytase: consequences for protein utilisation • *Nutrition Research Reviews*, 2000. Vol. 13. No. 2. Pp. 255-278. DOI: 10.1079/095442200108729098.

7. Карамушкина С.В., Вертипрахов В.Г. Динамика ферментативной активности дуоденального химуса овец в постпрандиальный период: к механизму регуляции пищеварения у жвачных • *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*, 2025. Т. 2. № 11. С. 55-63. DOI 10.36871/vet.zoo.bio.202511207. EDN: XHRUSR.

Karamushkina S.V., Vertiprakhov V.G. Dynamics of enzymatic activity of duodenal chyme in sheep in the postprandial period: towards the mechanism of digestive regulation in ruminants • *Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology*, 2025. Vol. 2. No. 11. Pp. 55-63. DOI: 10.36871/vet.zoo.bio.202511207.

8. Карамушкина С.В., Жевнеров А.В. Особенности минерального обмена у овец при введении в рацион продуктов переработки сои • *Дальневосточный аграрный вестник*, 2025. Т. 19. № 3. С. 56-62. DOI 10.22450/1999-6837-2025-19-3-56-62. EDN: PXHJMH.

Karamushkina S.V., Zhevnerov A.V. Features of mineral metabolism in sheep with the introduction of soy processing products into the diet • *Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2025. Vol. 19. No. 3. Pp. 56-62. DOI: 10.22450/1999-6837-2025-19-3-56-62. EDN: PXHJMH.

9. FASS. Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching • *3rd ed. Champaign, IL: Federation of Animal Science Societies*, 2010. 169 p.

10. Алиев А.А. Хронические фистулы рубца и двенадцатиперстной кишки у овец. Методика и техника подготовки • *Животноводство*, 1998. № 6. С. 34-38.

Aliev A.A. Chronic fistulas of the rumen and duodenum in sheep. Methods and preparation techniques • *Animal husbandry*, 1998. No. 6. Pp. 34-38.

11. Козлов В.А., Морозова А.В., Семенов Е.И. и др. Рапсовый шрот как замена соевого шрота в рационах молочных коров • *Молочное и мясное скотоводство*, 2020. № 3. С. 45-49.

Kozlov V.A., Morozova A.V., Semenov E.I., et al. Rapeseed meal as a substitute for soybean meal in diets of dairy cows • *Dairy and Beef Cattle Farming*, 2020, No. 3. Pp. 45-49.

12. Вертипрахов В.Г., Цуканова Е.С. Влияние семян рапса с разным содержанием эруковой кислоты на секреторную функцию поджелудочной железы кур • *Вестник КрасГАУ*, 2009. № 8 (35). С. 110-113. EDN: KWQBUF.

Vertiprakhov V.G., Tsukanova E.S. Influence of rape-seed seeds with different content of erucic acid on the secretory function of the pancreas in chickens • *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2009. No. 8. (35). Pp. 110-113. EDN: KWQBUF.

13. Яговенко Т., Афонина Е. Биохимические свойства зерна белого люпина • *Комбикорма*, 2018. № 3. С. 66-68. EDN: YSLBXU.

Yagovenko T., Afonina E. Biochemical properties of white lupin grain • *Nutrient Feeds*, 2018. No. 3. Pp. 66-68. EDN: YSLBXU.

14. Gresta F., Oteri M., Scordia D. et al. White lupin (*Lupinus albus* L.), an alternative legume crop for animal feeding in the Mediterranean • *Agriculture*, 2023. Vol. 13. No. 2. Art. 434. DOI: 10.3390/agriculture13020434.

15. Morquecho-Campos P., Bikker F.J., Nazmi K. et al. A stepwise approach investigating salivary responses upon multisensory food cues • *Physiology & Behavior*, 2020. Vol. 226. Art. 113116. DOI: 10.1016/j.physbeh.2020.113116.

16. Chondrou T., Adamidi N., Ligouras D. et al. Dietary phytic acid, dephytinization and phytase supplementation modulate macronutrient bioavailability – a review of human studies • *Nutrients*, 2024. Vol. 16. No. 23. Art. 4069. DOI: 10.3390/nu16234069.

17. Нецветаев В.П., Князева И.В., Огуля А.П., Сорокопудова О.А. Генетический контроль синтеза белков семян белого люпина (*Lupinus albus* L.) • *Генетика*, 2013. Т. 49. № 6. С. 778. DOI: 10.7868/S001667581305010X. EDN: QAXJKL.

Netsvetaev V.P., Knyazeva I.V., Ogulya A.P., Sorokopudova O.A. Genetic control of white lupin (*Lupinus albus* L.) seed protein synthesis • *J. Genetics*, 2013. Vol. 49. No. 6. Pp. 778-786. DOI: 10.7868/S001667581305010X.

18. Зверев С. Белый люпин – альтернатива сое • *Птицеводство*, 2016. № 2 (31). С. 46-48. EDN: XVDLNX.

Zverev S. White lupin as an alternative to soy • *Poultry industry*, 2016. No. 2. Pp. 46-48.

19. Moran E.T., Bedford M.R. Basis for the diversity and extent in loss of digestible nutrients created by dietary phytin: Emphasis on fowl and swine • *Animal Nutrition*, 2024. Vol. 16. P. 422-428. DOI: 10.1016/j.aninu.2023.11.010.

20. Eisenberg S.W.F., Ravesloot L., Koets A.P., Grünberg W. Effect of dietary phosphorus deprivation on leukocyte function in dairy cows • *Journal of Dairy Science*, 2019. Vol. 102. No. 3. Pp. 2561-2571. DOI: 10.3168/jds.2018-15491.

21. Grünberg W. Treatment of Phosphorus Balance Disorders • *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 2014. Vol. 30. No. 2. Pp. 383-408. DOI: 10.1016/j.cvfa.2014.04.004.

22. Libera K., Konieczny K., Witkowska K. et al. The Association between Selected Dietary Minerals and Mastitis in Dairy Cows-A Review • *Animals (Basel)*, 2021. Aug. 7;11(8):2330. DOI: 10.3390/ani11082330. PMID: 34438787; PMCID: PMC8388399.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Юсупжан Артыкович Юлдашбаев, доктор с.-х. наук, профессор, академик РАН, зав. кафедрой частной зоотехнии тел.: 8 499-;976-02-36; e-mail: yuldashbaev@rgau-msha.ru;

Светлана Владимировна Карамушкина, канд. биол. наук, доцент кафедры патологии, морфологии и физиологии, тел. 8 914 591 03 46; e-mail: sveta.vetmed@mail.ru;

Екатерина Андреевна Мурадян, ассистент кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, тел.: 8 (499) 976-37-38, e-mail: muradyan@rgau-msha.ru

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yusupzhan A. Yuldashbaev, doctor of Agricultural Sciences, professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Private Animal Science; tel.: 8 499-976-02-36, e-mail: yuldashbaev@rgau-msha.ru;

Svetlana V. Karamushkina, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Pathology, Morphology and Physiology; tel.: 8 914 591 03 46, e-mail: sveta.vetmed@mail.ru;

Ekaterina A. Muradyan, Assistant of the Department of Animal Physiology, Ethology, and Biochemistry, tel.: 8 (499) 976-37-38, e-mail: muradyan@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; Russian Federation, 127434, Moscow, Timiryazevskaya St., 49

Поступила в редакцию / Received 28.05.2026

Поступила после рецензирования / Revised 01.06.2026

Принята к публикации / Accepted 03.06.2026