

Научная статья

УДК 636:612.3

EDN RUNNFD

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-77-83>

Морфофункциональные изменения поджелудочной железы цыплят-бройлеров при введении в рацион люпина белого

Светлана Владимировна Карамушкина¹, Надежда Алексеевна Сергеенкова²

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
Москва, Россия, sveta.vetmed@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований морфофункциональных изменений внешнесекреторного аппарата поджелудочной железы цыплят-бройлеров кросса «Смена-9» в возрасте 42 суток при введении в рацион 7,5 % белого люпина как альтернативного источника протеина. Люпин характеризуется высоким содержанием сырого протеина (40 %) и жира (17 %), а также низким уровнем ингибиторов трипсина (0,08–0,16 г/кг), что обеспечивает высокую переваримость (85,5 %) и экономическую целесообразность по сравнению с соевым и подсолнечным шротом. Методом пар аналогов сформированы контрольная (стандартный комбикорм с подсолнечным шротом) и опытная группы. Гистологический анализ проводился с применением окраски гематоксилином-эозином, морфометрия – на светооптическом микроскопе с последующей статистической обработкой полученных данных (*t*-критерий Стьюдента, $p < 0,05$). Выявлено статистически значимое увеличение площади ацинусов на 12,5 % ($p < 0,02$), высоты ацинарных клеток на 21,1 % ($p < 0,01$), диаметра внутридольковых протоков на 9,7 % ($p < 0,02$) и площади просвета междольковых протоков на 14,8 % ($p < 0,01$), что свидетельствует о гипертрофии секреторных элементов и оптимизации эвакуации панкреатического сока. Отсутствие дистрофических или воспалительных изменений подтверждает стимулирующий эффект люпина в указанной дозе на экзокринную функцию железы, способствуя повышению переваримости нутриентов и продуктивных показателей птицы. Полученные данные обосновывают рекомендации по нормированному включению люпина в рационы бройлеров для замены традиционных протеиновых добавок.

Ключевые слова: люпин белый, альтернативный источник протеина, цыплята-бройлеры, поджелудочная железа, гистоструктура

Финансирование: исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 25-26-00133 «Физиологическая оценка белковых добавок для определения норм потребностей и разработка рационов цыплят-бройлеров с использованием фистульных технологий».

Для цитирования: Карамушкина С. В., Сергеенкова Н. А. Морфофункциональные изменения поджелудочной железы цыплят-бройлеров при введении в рацион люпина белого // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 77–83. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-77-83>.

Original article

Morphofunctional changes in the pancreas of broiler chickens when white lupine is introduced into the diet

Svetlana V. Karamushkina¹, Nadezhda A. Sergeenkova²

^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation, sveta.vetmed@mail.ru

Abstract. The results of studies of morphofunctional changes in the external secretory apparatus of the pancreas of broiler chickens of the Smena-9 cross (age 42 days) are shown. 7.5% white

lupine was introduced into the diet of chickens as an alternative protein source. Lupine is characterized by a high content of crude protein (40%) and fat (17%), as well as a low level of trypsin inhibitors (0.08–0.16 g/kg). This ensures high digestibility and economic feasibility of this feed in comparison with soybean and sunflower meal. A control group (feeding with standard mixed feed with sunflower meal) and an experimental group were formed. Histological analysis was performed using hematoxylin-eosin staining, morphometry was performed using a light-optical microscope. A statistically significant increase in acinus area by 12.5% ($p < 0.02$), acinar cell height by 21.1% ($p < 0.01$), intra-valvular duct diameter by 9.7% ($p < 0.02$) and inter-valvular duct lumen area by 14.8% ($p < 0.01$) was found, indicating hypertrophy of secretory elements and optimisation of pancreatic juice evacuation. The absence of dystrophic and inflammatory changes confirms the stimulating effect of lupin in this dose on the exocrine function of the gland. Lupine helps to increase the digestibility of nutrients and the productivity of poultry. Thus, studies substantiate recommendations for the normalized inclusion of lupin in broiler diets to replace traditional protein supplements.

Keywords: white lupine, alternative protein source, broiler chickens, pancreas, histostructure

Funding: the research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant No. 25-26-00133 "Physiological assessment of protein supplements for determining the standards of needs and developing rations for broiler chickens using fistula technologies".

For citation: Karamushkina S. V., Sergeenkova N. A. Morphofunctional changes in the pancreas of broiler chickens when white lupine is introduced into the diet. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19:4:77–83. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-4-77-83>.

Введение. Альтернативные источники протеина в рационах цыплят-бройлеров позволяют полностью или частично заменить общепринятые протеиновые добавки, в частности соевый и подсолнечный шрот.

Одним из таких альтернативных источников являются бобы люпина белого. Их состав характеризуется большим содержанием сырого протеина (40 %), сырого жира (17 %). Использование люпина в рационе кур-несушек эффективно и экономически целесообразно на всем поголовье птицы и на постоянной основе. При этом, как указано в работе [1], стоимость одной тонны опытного корма с использованием люпина при корректировке рецепта дешевле на 51 руб. (0,31 %), чем стоимость основного корма, что является очень значимым фактором в оценке эффективности производства [1].

При изучении работ, посвященных питательной ценности люпина в рационах кур-несушек и цыплят-бройлеров, обращает на себя внимание высокий процент переваримости белка и, как результат, увеличение продуктивных показателей сельскохозяйственной птицы. По данным исследований работы [2], переваримость протеина семян люпина (85,50 %) находится практически на уровне переваримости рыбной муки (86,60 %), тогда как переваримость протеина гороха составляет

80,4 %, мясной муки – 90,8 %, кукурузного глютена – 95,3 % [2]. На питательные качества корма значительное влияние оказывает наличие антипитательных веществ. Содержание ингибиторов трипсина в разных сортах люпина незначительно и колеблется в пределах 0,08–0,16 г/кг. При этом их содержание в соевом шроте значительно выше и находится на уровне 3,0–3,5 г/кг (или 2–7 ИЕ/г) [3].

Однако, как любой высокобелковый продукт, данный корм требует нормированного подхода при включении его в рационы животных. В ранее проведенных исследованиях рекомендуется вводить в рацион кур-несушек не более 5–15 % люпина белого сорта Дега, содержащего 39,6 % протеина и 5,6 % клетчатки, для замены сои и продуктов ее переработки [4].

Одним из факторов, указывающих на способность птицы переварить и усвоить питательные вещества белковых компонентов рациона, является внешнесекреторная активность поджелудочной железы. У цыплят-бройлеров, как у животных с преимущественно кишечным типом ферментации, уровень панкреатической секреции является важным показателем переваримости нутриентов корма [5]. В анализированных нами исследованиях отмечено, что наиболее информативным показателем вкусовых и питательных свойств разных рационов

является активность трипсина. Увеличение активности трипсина при смене контрольного корма на опытный, содержащий 25,0 % люпина белого, указывает на привлекательный белковый вкус люпина в данной дозе. Увеличение содержания люпина белого в корме до 50 или 75 % влечет снижение сложнорефлекторной реакции на данный компонент рациона и вызывает торможение секреторной функции пищеварительных желез [6].

При этом внешнесекреторная активность поджелудочной железы зависит от морфофункциональных характеристик ее структурных элементов, в частности ацинарного аппарата [7, 8].

Цель работы – исследовать морфофункциональные характеристики внешнесекреторного аппарата поджелудочной железы цыплят-бройлеров при введении в рацион различных доз люпина белого. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Оценить морфометрические параметры ацинарного аппарата поджелудочной железы, включая площадь ацинусов, диаметр ацинусов и высоту ацинарных клеток, с использованием гистологического анализа на основе статистической обработки данных.

2. Исследовать морфометрические и гистологические характеристики протоковой системы поджелудочной железы, включая диаметр внутридольковых протоков, толщину эпителия протоков и площадь просвета междольковых протоков, с целью установления адаптивных изменений в эвакуации панкреатического сока.

Методы исследований. Исследования проводились на кафедре физиологии, этиологии и биохимии животных Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева с июля по сентябрь 2025 г.

При этом методом пар аналогов из цыплят-бройлеров кросса «Смена-9» в возрасте 3–4 недели было сформировано две группы. Контрольная группа в качестве основного рациона получала комби-корм марки ПК-6 (соевый шрот – 15 %). Цыплята-бройлеры опытной группы также получали основной рацион, но 50 % соевого шрота заменили на люпин белый. Доля люпина в рационе составляла 7,5 %.

Забор материала проводили от эвтаназированных цыплят-бройлеров в возрасте 42 суток после завершения хронического физиологического эксперимента, с последующей фиксацией в 10-процентном нейтральном формалине в течение 24 часов. После выполнения процедуры обезвоживания и проводки через автоматический тканевый процессор Leica EM TP материал заливали в парафин и получали серийные срезы толщиной 5–7 мкм на санном микротоме.

Для комплексного изучения морфофункциональных особенностей применяли следующие методы окраски: гематоксилин-эозин для общего анализа гистоархитектоники, при котором гематоксилин выявлял ядерные структуры (ДНК/РНК) в сине-фиолетовой гамме, а эозин окрашивал цитоплазму и соединительно-тканые элементы в розово-красные тона [9].

При этом измеряли следующие параметры: площадь ацинусов, площадь внутридольковых протоков. Все измерения проводились для пяти и более образцов на группу с расчетом средних значений (M) и стандартной ошибки (m), а для оценки достоверности различий по сравнению с контрольной группой использовался t -критерий Стьюдента с уровнями значимости: $p < 0,02$; $p < 0,01$ и $p < 0,001$.

Увеличение площади ацинусов трактуется как повышение секреторной активности, в то время как увеличение площади протоков означает улучшение эвакуации панкреатического сока, что в целом свидетельствует о стимулирующем влиянии изучаемого корма на морфофункциональное состояние поджелудочной железы [10].

Анализ препаратов выполняли с помощью светооптического микроскопа Hariomed IW-A1350C с последующей цифровой фотодокументацией при использовании системы ADF live 4k. Статистическую обработку морфометрических данных проводили с применением табличного процессора Excel.

Результаты исследований и их обсуждение. Морфометрический анализ экзокринной части поджелудочной железы цыплят-бройлеров кросса «Смена-9», проведенный в условиях введения в рацион люпина белого, выявил статистически значимые изменения структурных

параметров по сравнению с контрольной группой, получавшей стандартный комбикорм на основе соевого шрота. Результаты представлены в таблицах 1 и 2, где рассчитаны процентные различия между опытной и контрольной группами.

Анализируя данные видим, что в опытной группе наблюдается достоверное увеличение площади ацинусов на 12,5 % ($p < 0,02$), что свидетельствует о гипертрофии секреторных ациноцитов и усилении синтеза панкреатических ферментов (амилазы, липазы и протеаз), адаптированном к повышенной протеиновой нагрузке от люпина. При этом диаметр ацинусов вырос на 4,8 %, не достигая статистической значимости ($p > 0,05$), что указывает на умеренную дилатацию структур без признаков дистрофических изменений. Наиболее выраженным изменением является рост высоты ацинарных клеток на 21,1 % ($p < 0,01$), отражающий гиперплазию базофильно окрашенных зон с гранулярной эндоплазматической сетью, ответствен-

ных за транскрипцию и трансляцию проферментов. Эти морфометрические сдвиги согласуются с данными о повышенной активности трипсина при 7,5 % люпина в рационе [5], подтверждая стимулирующий эффект кормового фактора на экзокринную функцию железы без перегрузки.

Введение люпина белого привело к достоверному расширению диаметра внутридольковых протоков на 9,7 % ($p < 0,02$), что интерпретируется как адаптивная реакция на повышенный объем панкреатического секрета, обеспечивающая эффективную эвакуацию ферментов в просвет двенадцатиперстной кишки (табл. 2). Толщина эпителия протоков увеличилась на 5,3 % ($p > 0,05$) без значимых различий, что указывает на стабильность барьерной функции кубического эпителия, минимизирующего риск рефлюкса. Площадь просвета междольковых протоков выросла на 14,8 % ($p < 0,01$), отражая гипертрофию призматического эпителия и улучшение гидродинамики секрета, коррелирующее

Таблица 1 – Морфометрические показатели экзокринной части поджелудочной железы цыплят-бройлеров кросса «Смена-9»

Table 1 – Morphometric parameters of the exocrine part of the pancreas of broiler chickens of the Smena-9 cross

Показатель	Группы		Отклонение опытной от контрольной, %
	контрольная	опытная	
Площадь ацинусов, мкм^2	251,3±12,1	282,5±17,1	12,5*
Диаметр ацинусов, мкм	29,1±2,7	30,5±1,8	4,8
Высота ацинарных клеток, мкм	10,9±1,1	13,2±0,8	21,1**

* $p < 0,02$; ** $p < 0,01$; различия рассчитаны по t -критерию Стьюдента.

Таблица 2 – Морфометрические показатели протоковой системы поджелудочной железы цыплят-бройлеров кросса «Смена-9»

Table 2 – Morphometric parameters of the ductal pancreatic system of broiler chickens of the Smena-9 cross

Показатели	Группы		Отклонение опытной от контрольной, %
	контрольная	опытная	
Диаметр внутридольковых протоков, мкм	24,7±2,2	27,1±1,7	9,7*
Толщина эпителия протоков, мкм	7,5±0,4	7,9±0,2	5,3
Площадь просвета междольковых протоков, мкм^2	3 460±306	3 970±279	14,8**

* $p < 0,02$; ** $p < 0,01$; различия рассчитаны по t -критерию Стьюдента.

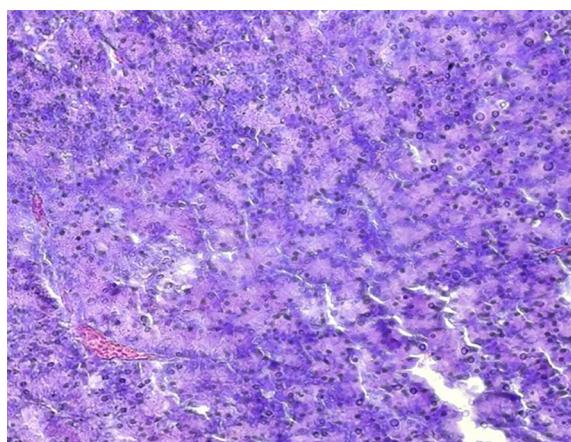
с низким содержанием ингибиторов трипсина в люпине (0,08–0,16 г/кг [3]).

Общие изменения протоковой системы подтверждают оптимизацию внешнесекреторной активности железы, способствуя повышению переваримости рациона и продуктивных показателей птицы.

Гистологический анализ препаратов, окрашенных гематоксилином-эозином, показанных на рисунке 1, подтвердил сохранность дольчатой архитектоники паренхимы: экзокринные ацинусы серозного типа с базофильно окрашенными базальными отделами и окси菲尔льными апикальными гранулами; протоки выстланы однослойным эпителием без признаков метаплазии. Строма умеренно развита с преобладанием ретикулярных волокон в внутридольковых прослойках, обеспечивающих трофику без фиброза. Вакуляризация адекватна с регулярным расположением капилляров вокруг ацинусов.

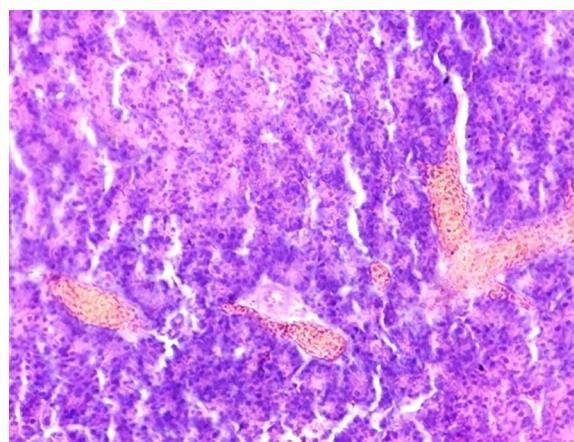
Отсутствие воспалительных или некротических изменений подчеркивает физиологический характер адаптации к люпину в дозе 7,5 %, в отличие от более высоких доз (25–75 %), вызывающих торможение секреции [5, 6].

Таким образом, морффункциональные сдвиги свидетельствуют о положительном влиянии люпина на поджелудочную железу, открывая перспективы его использования как экономически выгодной протеиновой добавки.



контроль (control)

окраска гематоксилином и эозином (увеличение $\times 200$)
hematoxylin and eosin staining (magnification $\times 200$)



опыт (experiment)

Рисунок 1 – Гистоструктура поджелудочной железы цыплят-бройлеров
Figure 1 – Histostructure of the pancreas of broiler chickens

Заключение. 1. Морфометрический анализ ацинарного аппарата поджелудочной железы цыплят-бройлеров кросса «Смена-9» при введении 7,5 % люпина белого выявил статистически значимое увеличение площади ацинусов на 12,5 % ($p < 0,02$) и высоты ацинарных клеток на 21,1 % ($p < 0,01$), что свидетельствует о гипертрофии секреторных ациноцитов и усилении синтеза панкреатических ферментов, адаптированном к повышенной протеиновой нагрузке без признаков дистрофии.

2. Гистологический и морфометрический анализ протоковой системы поджелудочной железы показал достоверное расширение диаметра внутридольковых протоков на 9,7 % ($p < 0,02$) и площади просвета междольковых протоков на 14,8 % ($p < 0,01$), подтвердив адаптивную оптимизацию эвакуации панкреатического сока и сохранность эпителия без воспалительных или метапластических изменений, что коррелирует с низким содержанием ингибиторов трипсина в люпине.

Полученные данные обосновывают целесообразность использования люпина белого при 50-процентном замещении его в рационе (в дозе до 7,5 %) как экономически выгодной альтернативы соевым и подсолнечным добавкам и способствующему повышению продуктивности. Дальнейшие исследования высоких доз люпина (25–75 %) важны для уточнения пороговых эффектов и оптимизации рационов.

Список источников

1. Агеев Б. В., Алиева Э. Н., Бочкарева Е. В., Киселева К. В., Прытков Ю. Н. Термо-обработанный люпин в рационах кур-несушек кросса Ломанн браун-классик // Аграрный научный журнал. 2021. № 11. С. 64–68. doi: 10.28983/asj.y2021i11pp64-68. EDN CJCSED.
2. Welker T. L., Overturf K. Effect of dietary soy protein source on effluent water quality and growth performance of rainbow trout reared in a serial reuse water system // Animals. 2023. Vol. 13. No. 19. P. 3090. doi: 10.3390/ani13193090.
3. Ленкова Т. Н., Зевакова В. К. Питательная ценность и антипитательные факторы семян люпина // Птицеводство. 2012. № 1. С. 21–23. EDN NJZFLZ.
4. Андрианова Е. Н., Егоров И. А., Григорьева Е. Н., Цыгуткин А. С. Люпин в кормлении сельскохозяйственной птицы // Птицеводство. 2019. № 11–12. С. 31–36. doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-11-12-31-36. EDN POPHVS.
5. Вертипрахов В. Г., Грозина А. А., Долгорукова А. М. Активность ферментов поджелудочной железы у цыплят-бройлеров на разных этапах пищеварения // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 4. С. 509–515. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.509rus. EDN WKCFV.
6. Вертипрахов В. Г., Сергеенкова Н. А., Беззубенко Д. Д., Полина С. И. Новый способ определения вкусовых и питательных свойств белого люпина в кормах цыплят-бройлеров // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2024. № 4 (205). С. 61–68. doi: 10.36718/1819-4036-2024-4-61-68. EDN NPWDRX.
7. Матвеев О. А., Пашинин Н. С., Торшков А. А., Тайгузин Р. Ш. Возрастная динамика морфометрических показателей поджелудочной железы у цыплят-бройлеров // Морфология. 2020. Т. 157. № 2–3. С. 135–136. EDN HRQSWT.
8. Матвеев О. А., Пашинин Н. С., Торшков А. А. Гистологическое строение поджелудочной железы цыплят-бройлеров в постинкубационном онтогенезе // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (86). С. 197–200. EDN NLWJGJ.
9. Гистология, эмбриология, цитология : учебник / под ред. Ю. И. Афанасьева, Н. А. Юриной. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2023. 832 с.
10. Шацких Е. В., Юшина О. В., Шацких Т. С. Перевариваемость питательных веществ рациона и морфогистологические изменения в поджелудочной железе и двенадцатиперстной кишке цыплят-бройлеров на фоне замены кормовых антибиотиков комплексным фитобиотиком // Аграрная наука. 2020. № 12. С. 7–12. doi: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-7.

References

1. Ageev B. V., Alieva E. N., Bochkareva E. V., Kiseleva K. V., Prytkov Yu. N. Heat-treated lupine in the diets of laying hens of the cross Lomann Brown-Classic. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2021;11:64–68. doi: 10.28983/asj.y2021i11pp64-68. EDN CJCSED (in Russ.).
2. Welker T. L., Overturf K. Effect of dietary soy protein source on effluent water quality and growth performance of rainbow trout reared in a serial reuse water system. *Animals*, 2023;13;19: 3090. doi: 10.3390/ani13193090.
3. Lenkova T. N., Zevakova V. K. Nutritional value and anti-nutritional factors of lupine seeds. *Ptitsevodstvo*, 2012;1:21–23. EDN NJZFLZ (in Russ.).
4. Andrianova E. N., Egorov I. A., Grigorieva E. N., Tsygutkin A. S. Lupin in the feeding of farm poultry. *Ptitsevodstvo*, 2019;11–12:31–36. doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-11-12-31-36. EDN POPHVS (in Russ.).
5. Vertiprakhov V. G., Grozina A. A., Dolgorukova A. M. Activity of pancreatic enzymes in broiler chickens at different stages of digestion. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2016;51;4: 509–515. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.509rus. EDN WKCFV (in Russ.).
6. Vertiprakhov V. G., Sergeenkova N. A., Bezzubenko D. D., Polina S. I. A new way to determine the taste and nutritional properties of white lupine in the feed of broiler chickens. *Vestnik*

Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2024;4(205):61–68. doi: 10.36718/1819-4036-2024-4-61-68. EDN NPWDRX (in Russ.).

7. Matveev O. A., Pashinin N. S., Torshkov A. A., Taiguzin R. Sh. Age dynamics of morphometric parameters of the pancreas in broiler chickens. *Morfologiya*, 2020;157;2–3:135–136. EDN HRQSWT (in Russ.).

8. Matveev O. A., Pashinin N. S., Torshkov A. A. Histological structure of the pancreas of broiler chickens in postincubation ontogenesis. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020;6(86):197–200. EDN NLWJGJ (in Russ.).

9. Afanasyev Yu. I., Yurina N. A. *Histology, embryology, cytology: textbook*, Moscow, GEOTAR-Media, 2023, 832 p. (in Russ.).

10. Shatskikh E. V., Yushina O. V., Shatskikh T. S. Digestibility of nutrients in the diet and morphohistological changes in the pancreas and duodenum of broiler chickens against the background of replacing feed antibiotics with a complex phytobiotic. *Agrarnaya nauka*, 2020;12: 7–12. doi: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-7 (in Russ.).

© Карамушкина С. В., Сергеенкова Н. А., 2025

Статья поступила в редакцию 05.11.2025; одобрена после рецензирования 01.12.2025; принята к публикации 02.12.2025.

The article was submitted 05.11.2025; approved after reviewing 01.12.2025; accepted for publication 02.12.2025.

Информация об авторах

Карамушкина Светлана Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, Российской государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, ORCID: 0009-0009-6485-7146, Author ID: 337761, sveta.vetmed@mail.ru:

Сергеенкова Надежда Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент, Российской государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, ORCID: 0000-0001-8769-951X, Author ID: 987206, nsergeenkova@rgau-msha.ru

Information about the authors

Svetlana V. Karamushkina, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ORCID: 0009-0009-6485-7146, Author ID: 337761, sveta.vetmed@mail.ru;

Nadezhda A. Sergeenkova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ORCID: 0000-0001-8769-951X, Author ID: 987206, nsergeenkova@rgau-msha.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.