

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 3. С. 8-20.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No 3. P. 8-20.

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Научная статья

УДК 636.088.31:636.22/28.082.13:577.17

doi:10.33284/2658-3135-108-3-8

Апробация технологии повышения продуктивных качеств крупного рогатого скота путем оценки и коррекции элементного статуса

Олег Александрович Завьялов¹, Ерлан Сагитович Медетов², Файзулло Сафарович Амиршоев³,
Алексей Михайлович Гулюкин⁴

^{1,2}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

³Таджикская академия сельскохозяйственных наук, Душанбе, Республика Таджикистан

⁴Федеральный научный центр–Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук, Москва, Россия

¹oleg-zavyalov83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

²erlanmedetov29@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9424-4254>

³afaizullo64@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8009-8057>

⁴admin@viev.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2160-4770>

Аннотация. Исследования выполнялись на 15-месячных бычках абердин-ангусской породы с выявленным дефицитом Zn и Se в сыворотке крови. Бычки были разделены на три группы: контрольную и две опытных. Животным I группы помимо основного рациона вводились дополнительные источники Zn и Se в составе добавок Плексомин Se 2000 дозировке 2 г/гол./сут и Плексомин Zn 26 в дозировке 1,5 г/гол./сут. Животные II группы получали эти же добавки в аналогичных дозировках, но в комплексе с аминокислотой – метионином (Met) из расчета 25 г/гол./сут. Продолжительность эксперимента составляла 90 суток. Убой бычков проводили в 18-месячном возрасте. Установлено, что в конце эксперимента элементный состав сыворотки крови бычков I опытной группы характеризовался достоверным увеличением уровней Zn, Se и снижением уровней Mn, Cu, Fe. Животные, получавшие комплекс Zn+Se+Met, напротив, отличались повышенной концентрацией этих элементов, что сопровождалось снижением уровня малонового диальдегида в сыворотке крови. Бычки опытных групп имели общую тенденцию к увеличению ряда показателей крови, непосредственно связанных с реализацией продуктивного потенциала (общего белка, альбумина, мочевины, мочевой кислоты). Для бычков I и II опытных групп было характерным достоверное увеличение уровня тестостерона и соматотропина, что отмечалось на фоне достоверного снижения концентрации гормона стресса – кортизола. По величине среднесуточных приростов бычки I и II опытных групп превосходили сверстников из контрольной группы на 5,9 и 8,4 %. Бычки контрольной группы уступали животным опытных групп по предубойной живой массе, массе парной и охлажденной туши, массе мякоти и костей в тушах при максимальной разнице между животными, получавшими комплекс Zn+Se+Met. Коррекция элементного статуса у бычков с выявленным дефицитом Se и Zn в сыворотке крови экономически выгодна и позволяет повысить уровень рентабельности производства говядины на величину до 2,53 %.

Ключевые слова: мясной скот, элементный статус, гормональный статус, селен (Se), цинк (Zn), метионин (Met), мясная продуктивность, экономическая эффективность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-26-00045.

Для цитирования: Апробация технологии повышения продуктивных качеств крупного рогатого скота путем оценки и коррекции элементного статуса / О.А. Завьялов, Е.С. Медетов, Ф.С. Амиршоев, А.М. Гулюкин // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 3. С. 8-20. [Zavyalov OA, Medetov ES, Amirshoev FS, Gulukin AM. Testing technology for improving the productive qualities of cattle by assessing and correcting the elemental status. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(3):8-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-3-8>

PHYSIOLOGY OF ANIMALS

Original article

Testing technology for improving the productive qualities of cattle by assessing and correcting the elemental status

Oleg A Zavyalov¹, Erlan S Medetov², Faisulo S Amirshoev³, Alexey M Gulukin⁴

¹²Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

³Tajik Academy of Agricultural Sciences, Dushanbe, Republic of Tajikistan

⁴Federal Research Center–All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Scriabin and Y.R. Kovalenko of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

¹oleg-zavyalov83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

²erlanmedetov29@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9424-4254>

³afaizullo64@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8009-8057>

⁴admin@viev.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2160-4770>

Abstract. The study was performed on 15-month Angus bulls with the identified deficiency of Zn and Se in blood serum. The bulls were divided into three groups: control and two experimental. In addition to the basic diet, animals from group I were given additional sources of Zn and Se in the form of Plexomin Se 2000 supplements at a dosage of 2 g/head/day and Plexomin Zn 26 at a dosage of 1.5 g/head/day. Animals of group II received the same supplements in similar dosages, but in combination with the amino acid methionine (Met) at a dosage of 25 g/head/day. The duration of the experiment was 90 days. The bulls were slaughtered at the age of 18 months. It was found that at the end of the experiment, the elemental composition of blood serum of bulls in group I was characterized by a reliable increase in the levels of Zn, Se and a decrease in the levels of Mn, Cu, Fe. Animals that received the Zn+Se+Met complex, on the contrary, had an increased concentration of these elements, which was accompanied by a decrease in the level of malondialdehyde in blood serum. Bulls in the experimental groups had a general tendency to increase a number of blood parameters directly related to the implementation of the productive potential (total protein, albumin, urea, uric acid). Bulls in the experimental groups I and II were characterized by a significant increase in testosterone and somatotropin levels, which was noted against the background of a significant decrease in the concentration of the stress hormone - cortisol. In terms of average daily gains, bulls in experimental groups I and II exceeded their peers from the control group by 5.9 and 8.4%. Bulls in the control group were inferior to animals of the experimental groups in pre-slaughter live weight, hot and chilled carcass weight, pulp and bone weight in carcasses, the maximum difference was in animals receiving the Zn+Se+Met complex. Correction of the elemental status in bulls with identified deficiency of Se and Zn in blood serum is economically beneficial and allows increasing the profitability of beef production by up to 2.53%.

Keywords: beef cattle, elemental status, hormonal status, selenium (Se), zinc (Zn), methionine (Met), meat productivity, economic efficiency

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 23-26-00045.

For citation: Zavyalov OA, Medetov ES, Amirshoev FS, Gulukin AM. Testing technology for improving the productive qualities of cattle by assessing and correcting the elemental status. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(3):8-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-3-8>

Введение.

Дисбалансы минеральных веществ представляют серьезную проблему для реализации потенциала продуктивных качеств сельскохозяйственных животных (Мирошников С.А. и др., 2023). При этом разработка и совершенствование технологий оценки и коррекции элементного статуса представляются эффективным инструментом для повышения продуктивных качеств крупного рогатого скота в целом и мясного скота в частности. Одним из таких решений является предлагаемая

нами технология, предусматривающая оценку содержания химических элементов в сыворотке крови с дальнейшей интерпретацией результатов в границах установленных референтных интервалов (Харламов А.В. и др., 2024). Применение разработанной технологии при выращивании мясных бычков позволит своевременно выявлять минеральные дисбалансы в организме и назначать корректирующие препараты для восполнения дефицита или устранения избытка отдельных химических элементов (Pace NJ and Weerapana E, 2014). Чтобы усвоиться в организме, минеральные вещества вступают во взаимодействие с многочисленными органическими и неорганическими соединениями (лигандами). Указанные комплексы по-разному усваиваются в организме, что в свою очередь обуславливает различный эффект от скармливания минеральных добавок и премиксов на физиологические и продуктивные показатели животных. Кроме того, отдельные микроэлементы могут конкурировать за лиганды, тем самым еще больше снижая ожидаемый результат от коррекции (Miroshnikov SA et al., 2022). Показательным примером проявления подобного взаимодействия в сельскохозяйственной биоэлементологии является антагонизм цинка и меди (Abuelo A et al., 2016). Исходя из этого, можно предположить, что дисбаланс микроэлементов в организме животных может быть спровоцирован не только избытком или дефицитом отдельных химических элементов в рационе, но и являться следствием эффекта антагонизма между различными химическими элементами в процессе конкуренции за металлосвязывающие агенты-транспортеры, в том числе аминокислоты (Muñiz-Naveiro O et al., 2007). В проведенных ранее исследованиях отмечается, что соединения минералов с аминокислотами практически не взаимодействуют с неорганическими носителями и поэтому беспрепятственно усваиваются в желудочно-кишечном тракте (García-Vaquero M et al., 2011).

Литературный анализ показал, что в настоящее время в открытых источниках практически полностью отсутствуют результаты исследований по оценке влияния эффективности коррекции элементного статуса эссенциальными элементами в комплексе с лимитирующими аминокислотами (и в частности – метионином) на физиологический статус и показатели мясной продуктивности крупного рогатого скота. Предполагается, что реализация наших исследований позволит устранить данные пробелы в фундаментальной и прикладной науке и разработать новые стратегии для повышения эффективности мясного скотоводства на основе модуляции обмена микронутриентов.

Цель исследования.

Оценка влияния добавок селена и цинка как в чистом виде, так и в комплексе с метионином на элементный статус, показатели крови и продуктивные качества бычков абердин-ангусской породы с выявленным дисбалансом химических элементов в организме.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Бычки абердин-ангусской породы.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fnbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН.

Схема эксперимента. Исследования выполнялись в крестьянско-фермерском хозяйстве Набоян Кярам Аскарлович (Самарская область) на бычках абердин-ангусской породы (возраст – 15 мес.; n=36) с выявленным дефицитом Zn и Se в сыворотке крови. Все животные были физиологически здоровы и имели интенсивность весового роста за период дорастивания и откорма с 8 до

15 мес. не менее 1000 г/сут. Животные содержались на привязи в капитальном помещении. С целью проведения исследований бычки были разделены на три группы: контрольную (n=12) и две опытных (n=12). Особенностью кормления животных I опытной группы являлось то, что помимо основного рациона животным вводились дополнительные источники Zn и Se в виде коммерческих препаратов: Плексомина Se 2000 в дозировке 2 г/гол./сут и Плексомина Zn 26 в дозировке 1,5 г/гол./сут. Животные II опытной группы получали эти же добавки в аналогичных дозировках, но в комплексе с аминокислотой – метионином в составе препарата МеноМет из расчета 25 г/гол./сут. Контрольная группа получала основной рацион без включения каких-либо добавок. Продолжительность экспериментального кормления составляла 90 суток. Убой бычков проводили в 18-месячном возрасте.

Образцы крови (9 мл) отбирали утром из хвостовой вены в вакуумные пробирки с активатором свертывания крови фирмы Hebei Xinle Sci&Tech Co.Ltd. Содержание малонового диальдегида оценивалась с использованием реакции с тиобарбитуровой кислотой спектрофотометрическим методом.

Анализ содержания эссенциальных и токсичных элементов (Mn, Co, Cu, Cr, Fe, Zn, Se, Cd, Hg, Pb, As) проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>). Весы для взвешивания ВСП4-ЖсО (АО «ВЕС-СЕРВИС», Россия), масс-спектрометр с индуктивно связанно плазмой Agilent 7900 (Agilent Technologies, США), весы лабораторные CE224-C (Россия), весы лабораторные ВК 3000 (Россия), центрифуга «Миниспин» (Германия), пробирки химические и центрифужные (Украина), колбы мерные, пипетки измерительные (Россия), дозатор пипеточный Биохит (Финляндия).

Статистическая обработка. Полученные данные обрабатывали с использованием программного пакета «Statistica 10.0» («StatSoft Inc.», США). Достоверность различий оценивали при помощи Т-критерия Стьюдента. Уровень значимости (P) принимался меньшим или равным 0,05. В таблицах приведены средние значения показателей и ошибки средних арифметических.

Результаты исследований.

Первичная оценка элементного состава сыворотки крови бычков в возрасте 15 месяцев выявила пониженные относительно физиологической нормы концентрации Zn и Se, избыток был установлен для токсичного элемента Pb (табл. 1).

Таблица 1. Элементный состав сыворотки крови бычков абердин-ангусской породы, мг/л
Table 1. Elemental composition of blood serum of Angus bulls, mg/l

Элементы/ <i>Elements</i>	Начало эксперимента/ <i>Beginning of the experiment</i>	Окончание эксперимента/ <i>End of the experiment</i>			Физиологическая норма/ <i>Physiological norm</i>
		контрольная группа/ <i>Control group</i>	I группа/ <i>I Group</i>	II группа/ <i>II Group</i>	
Mn	0,0396±0,0011	0,0382±0,0074	0,0313±0,00223*	0,0451±0,00143*	0,0376-0,0456
Co	0,00865±0,00035	0,00867±0,00041	0,00878±0,00043	0,00854±0,00033	0,0079-0,0094
Cu	0,532±0,0186	0,541±0,0289	0,481±0,0126*	0,580±0,0132*	0,513-0,638
Cr	0,05403±0,00244	0,05042±0,00179	0,05123±0,00228	0,05322±0,00212	0,0469-0,0575
Fe	4,39±0,159	4,48±0,599	3,83±0,214*	4,79±0,105*	3,62-4,83
Zn	0,739±0,0261	0,691±0,0216	0,804±0,01971*	0,971±0,0172**	0,815-0,968
Se	0,0356±0,00148	0,0335±0,00155	0,0393±0,00305*	0,0587±0,00305***	0,0414-0,0601
Cd	0,00292±0,00017	0,00318±0,00018	0,00322±0,00015	0,00288±0,00019	0,0029-0,0033
Pb	0,0281±0,00111	0,0290±0,00131	0,0241±0,00131*	0,0229±0,00112*	0,0084-0,0186

Примечание: * – P≤0,05; ** – P≤0,01; *** – P≤0,001 по сравнению с контрольной группой

Note: * – P≤0.05; ** – P≤0.01; *** – P≤0.001 compared to the control group

Анализ результатов элементного состава сыворотки крови в конце эксперимента в возрасте 18 месяцев показал, что скармливание испытуемого минерального комплекса (Zn+Se) животным I опытной группы сопровождалось достоверным увеличением уровней Se и Zn на 21,6 ($P \leq 0,05$) и 11,5 % ($P \leq 0,05$) соответственно. Вместе с тем, сопоставление полученных результатов с границами референтных интервалов показало, что, несмотря на значительное увеличение уровней Se и Zn в сыворотке крови, их концентрации все еще фиксировались на уровне ниже физиологической нормы. Более того, отмечалось нехарактерное для животных контрольной и II опытной групп снижение уровней ряда эссенциальных элементов, в частности Mn – на 20,9 % ($P \leq 0,05$), Cu – на 9,6 % ($P \leq 0,05$), Fe – на 12,8 % ($P \leq 0,05$). Включение комплекса Zn+Se+Met, напротив, сопровождалось увеличением концентраций Mn – на 18,06 % ($P \leq 0,05$), Cu – на 7,2 % ($P \leq 0,05$), Fe – на 6,9 % ($P \leq 0,05$) по отношению к фоновым значениям, при этом разница по отношению к животным I опытной группы была еще выше и составила для Mn 44,09 % ($P \leq 0,01$), Cu – на 20,6 % ($P \leq 0,01$) и Fe – на 25,1 % ($P \leq 0,01$). Следует отметить, что курс коррекции способствовал не только достоверному увеличению Se и Zn в сыворотке крови на 31,5 ($P \leq 0,05$) и 44,9 % ($P \leq 0,001$) соответственно, но и привел к нормализации их концентраций относительно физиологической нормы. Остановившись на отдельных аспектах, представляется интересным факт превышения верхней границы нормы по концентрации Pb на 51,1 % у животных при постановке на опыт и его дальнейшее снижение на 14,23 ($P \leq 0,05$) и 18,51 % ($P \leq 0,05$) соответственно по отношению к I и II опытным группам на фоне включения в состав рациона испытуемых комплексов, что может быть следствием проявления эффекта антагонизма.

Введение испытуемых добавок также отразилось на морфологических и биохимических показателях крови бычков (табл. 2).

Таблица 2. Морфологический и биохимический составы крови подопытных бычков абердин-ангусской породы

Table 2. Morphological and biochemical composition of blood of Angus calves

Показатели/Indicators	Группа/ Group		
	контрольная/ control	I опытная/ I experimental	II опытная/ II experimental
1	2	3	4
Глюкоза, ммоль/л/ Glucose, mmol/l	0,939±0,184	0,906±0,078	1,22±0,393
Общий белок, г/л/Total protein, g/l	70,86±1,383	76,03±1,50*	78,10±1,46*
Альбумин, г/л/Albumin, g/l	34,14±1,69	39,63±1,96*	41,29±1,36**
АЛТ, Ед/л/ALT, Units/l	27,61±9,39	29,10±11,01	31,19±20,15
АСТ, Ед/л/ALT, Units/l	0,826±0,145	0,953±0,895	0,726±1,136
Билирубин общий, мкмоль/л/Total Bilirubin, mmol	4,190±0,745	6,228±0,125*	6,234±0,071*
Холестерин, ммоль/л/ Cholesterol, mmol/l	1,099±0,220	1,215±0,130	1,264±0,277
Триглицериды, ммоль/л/ Triglycerides, mmol/l	0,623±0,021	0,720±0,026*	0,617±0,019
Мочевина, ммоль/л/ Urea, mmol/l	7,47±0,441	8,66±0,376*	8,90±0,358*
Креатинин, мкмоль/л/ Creatinine, mmol/l	78,071±5,164	95,013±6,43*	87,24±5,99
Мочевая кислота, мкмоль/л/ Uric acid, mmol/l	27,76±1,17	33,05±1,22*	34,83±2,26*
Лейкоциты, 10 ⁹ /л/ White blood cells, 10 ⁹ /l	13,10±0,895	10,51±0,622*	10,17±0,663*
Нейтрофилы, %/Neutrophils, %	35,81±4,073	26,61±2,85	26,26±2,68
Лимфоциты, %/ Lymphocytes, %	49,70±4,486	58,49±3,08	58,93±2,62
Лимфоциты, 10 ⁹ /л/Lymphocytes, 10 ⁹ /l	6,94±1,90	6,10±0,34	5,96±0,396
Моноциты, 10 ⁹ /л/ Monocytes, 10 ⁹ /l	0,989±0,232	0,875±0,064	1,097±0,213
Эозинофилы, 10 ⁹ /л/Eosinophils, 10 ⁹ /l	0,800±0,259	0,845±0,274	0,797±0,122
Базофилы, 10 ⁹ /л/Basophils, 10 ⁹ /l	0,067±0,028	0,050±0,007	0,043±0,005
Число эритроцитов 10 ¹² /л/ Number of red blood cells, 10 ¹² /l	4,14±0,327	4,91±0,428	5,62±0,314**
Концентрация гемоглобина, г/л/ Hemoglobin concentration, g/l	98,29±2,95	105,9±3,43	112,3±3,19**

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Средний объем эритроцита, фл/ <i>The average volume of red blood cells, fl</i>	41,60±0,559	41,163±1,12	40,86±1,39
Эритроцитарный индекс, ед/ <i>Erythrocyte index, units</i>	20,9±1,11	21,813±1,15	23,34±1,23
Средняя концентрация корпскульяного гемоглобина, г/л/ <i>Average concentration of corpuscular hemoglobin, g/l</i>	401,9±26,335	428,6±17,94	476,4±19,79
Ширина распределения эритроцитов (коэф-т вариации), %/ <i>Red blood cell distribution width (coefficient of variation), %</i>	13,571±1,341	12,263±0,885	15,10±1,20
Ширина распределения эритроцитов (станд.откл.) / <i>Red blood cell distribution width (standard off)</i>	22,543±2,380	19,775±1,35	24,47±2,09
Количество тромбоцитов, 10 ⁹ /л/ <i>Platelet count, 10⁹/l</i>	298,6±18,48	300,8±16,18	303,4±39,25

Примечание: * – P≤0,05; ** – P≤0,01 по сравнению с контрольной группой

Note: * – P≤0.05; ** – P≤0.01 compared to the control group

Установлено, что бычки опытных групп имели общую тенденцию к увеличению ряда показателей крови, непосредственно связанных с реализацией продуктивного потенциала. В частности, бычки, получавшие комплекс микроэлементов в чистом виде, превосходили животных контрольной группы по содержанию в крови общего белка на 7,30 % (P≤0,05), альбумина – 16,08 % (P≤0,05), мочевины – 15,93 % (P≤0,05), мочевой кислоты – 19,06 % (P≤0,05). Разница по значениям этих показателей между животными, получавшими микроэлементы в комплексе с метионином, была еще более выраженной и составила для общего белка 10,22 % (P≤0,05), альбумина – 20,94 % (P≤0,01), мочевины – 19,14 % (P≤0,05), мочевой кислоты – 25,5 % (P≤0,05). Следует отметить, что концентрация лейкоцитов достоверно снижалась у бычков как I, так и II групп по отношению к контрольной на 19,7 (P≤0,05) и 22,36 % (P≤0,05) соответственно, что косвенно свидетельствует о снижении воспалительных процессов в организме бычков под действием испытываемых добавок.

Включение дополнительных источников селена и цинка в рацион животных опытных групп оказало заметное влияние на их гормональный статус (табл. 3).

Таблица 3. Концентрация гормонов в сыворотке крови подопытных бычков
абердин-ангусской породы

Table 3. The concentration of hormones in the blood serum of experimental bulls of the Angus breed

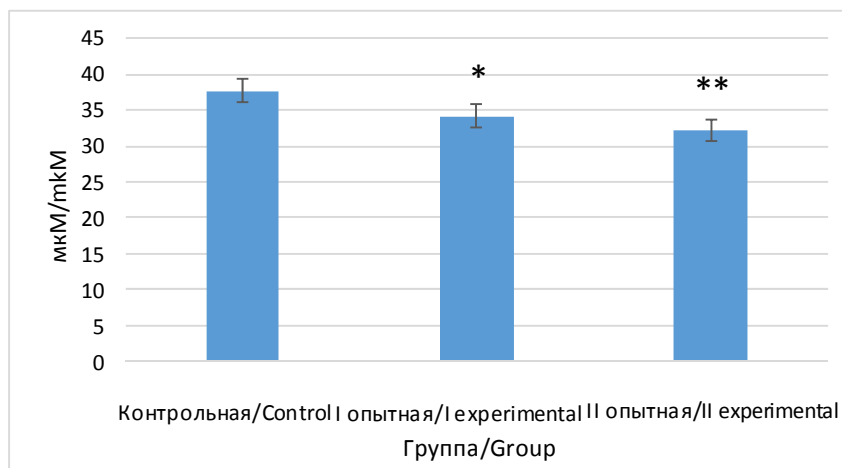
Показатели/Indicators	Группа/ Group		
	контроль- ная/control	I опытная/ I experimental	II опытная/ II experimental
Тиреотропный гормон, мМЕ/л / <i>Thyroid-stimulating hormone, mME/l</i>	4,38±0,620	5,62±0,302	3,70±0,231
Тестостерон, нмоль/л / <i>Testosterone, nmol/l</i>	48,69±1,47	54,32±1,57*	56,53±1,32*
Прогестерон, нмоль/л / <i>Progesterone, nmol/l</i>	1,25±0,276	1,13±0,127	1,56±0,173
Соматотропин, мМЕ/л / <i>Somatotropin, mME/l</i>	27,87±0,978	31,28±1,15*	32,35±1,23*
Кортизол, нмоль/л / <i>Cortisol, nmol/l</i>	36,53±1,00	33,80±1,39	31,71±1,04**
Инсулин, мкМЕ/мл / <i>Insulin, mcME/ml</i>	9,45±3,76	10,68±2,51	9,99±2,66
Тироксин, нмоль/л / <i>Тироксин, нмоль/л</i>	235,5±6,41	237,3±6,43	241,1±5,03
Трийодтиронин, нмоль/л / <i>Triiodothyronine, nmol/l</i>	3,29±0,275	3,37±0,306	3,62±0,423
Фолликулостимулирующий гормон, МЕ/л / <i>Follicle stimulating hormone, MME/l</i>	1,14±0,252	0,972±0,192	1,04±0,222
Адренокортикотропный гормон, тпг/л / <i>Adrenocorticotrophic hormone, pth/l</i>	38,8±10,11	35,10±6,28	41,55±13,84

Примечание: * – P≤0,05; ** – P≤0,01 по сравнению с контрольной группой

Note: * – P≤0.05; ** – P≤0.01 compared to the control group

Анализ полученных данных показал, что для бычков I и II опытных групп было характерным достоверное увеличение уровня тестостерона на 11,56 (P≤0,05) и 15,01 % (P≤0,05), соматотропина – на 12,2 (P≤0,05) и 16,07 % (P≤0,05), что отмечалось на фоне достоверного снижения концентрации гормона стресса – кортизола на величину 7,47 (P≤0,05) и 13,19 % (P≤0,05) соответственно.

Известным проявлением негативного эффекта от недостатка селена и цинка является развитие окислительного стресса в организме животных. В нашем исследовании, подтверждением усиления окислительных процессов у подопытных животных является достоверное снижение уровня малонового диальдегида как одного из надежных и часто используемых маркеров окислительного стресса (рис. 1).



Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ по сравнению с контрольной группой

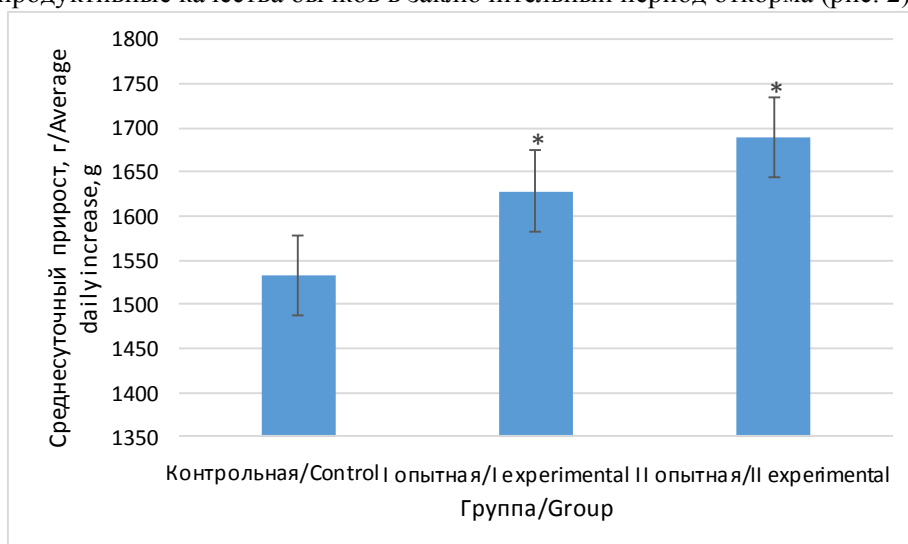
Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$ compared to the control group

Рисунок 1. Концентрация малонового диальдегида в сыворотке крови подопытных бычков абердин-ангусской породы

Figure 1. Concentration of malondialdehyde in the blood serum of experimental Angus bulls

Результаты исследований показали, что включение комплекса Zn+Se и Zn+Se+Met в нашем эксперименте сопровождалось снижением уровня малонового диальдегида в сыворотке крови на 9,14 ($P \leq 0,05$) и 14,52 % ($P \leq 0,01$).

Дисбаланс микроэлементов в сыворотке крови животных контрольной группы негативно повлиял на продуктивные качества бычков в заключительный период откорма (рис. 2).



Примечание: * – $P \leq 0,05$ по сравнению с контрольной группой

Note: * – $P \leq 0.05$ compared to the control group

Рисунок 2. Среднесуточные приросты подопытных бычков абердин-ангусской породы в период заключительного откорма (15-18 мес.)

Figure 2. Average daily gains of experimental bulls of the Angus breed during the final fattening period (15-18 months)

В частности, было установлено, что по величине среднесуточных приростов за период 15-18 мес. бычки I и II опытных групп превосходили сверстников из контрольной группы на 5,9 ($P \leq 0,05$) и 8,4 % ($P \leq 0,05$) соответственно.

Результаты контрольного убоя подопытных бычков в возрасте 18 мес. свидетельствуют, что коррекция элементного статуса оказала значительное влияние на показатели мясной продуктивности (табл. 4).

Таблица 4. Результаты контрольного убоя подопытных бычков абердин-ангусской породы
Table 4. Results of the control slaughter of experimental bulls of the Angus breed

Показатели/Indicators	Группа/ Group		
	контрольная/ control	I опытная/ I experimental	II опытная/ II experimental
Предубойная масса, кг/ Pre-slaughter weight, kg	558,7±3,52	569,4±3,27*	572,6±3,72*
Масса парной туши, кг/ Weight of steamed carcass, kg	321,3±1,98	328,1±2,33*	330,9±2,15**
Выход туши, %/ Carcass yield, %	57,52±0,283	57,63±0,305	57,79±0,215
Масса внутреннего жира, кг/ Internal fat mass, kg	16,32±0,198	16,41±0,277	15,73±0,261
Выход внутреннего жира, %/ Yield of internal fat, %	2,92±0,135	2,88±0,153	2,74±0,124
Убойная масса, кг/ Slaughter weight, kg	337,6±2,05	344,5±1,9*	346,6±1,88*
Убойный выход, %/ Slaughter yield, %	60,43±0,352	60,51±0,299	60,54±0,357

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ по сравнению с контрольной группой

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ compared to the control group

Как видно из полученных данных, бычки контрольной группы уступали животным, получавшим комплекс Zn+Se+Met и комплекс Zn+Se, по предубойной живой массе на 1,88 ($P \leq 0,05$) и 2,43 % ($P \leq 0,05$), массе парной туши – на 2,07 ($P \leq 0,05$) и 2,90 % ($P \leq 0,01$), убойной массе – на 2,00 ($P \leq 0,05$) и 2,60 % ($P \leq 0,05$) соответственно.

Экономическая эффективность выращивания бычков в разрезе изучаемых групп представлена в таблице 5.

Таблица 5. Экономическая эффективность коррекции элементного статуса у бычков с выявленным дефицитом Se и Zn в сыворотке крови при производстве говядины
Table 5. Economic efficiency of correction of elemental status in bulls with identified deficiency of Se and Zn in blood serum during beef production

Показатели/Indicators	Группа/ Group		
	контрольная/ control	I опытная/ I experimental	II опытная/ II experimental
Масса парной туши, кг/ Weight of steamed carcass, kg	321,3±1,98	328,1±2,33*	330,9±2,15**
Производственные затраты, руб./гол.*/ Production costs, rub./head*	98867,2	99424,1	99827,3
Реализационная стоимость 1 головы, руб./ Sales cost of 1 head, rub.	125307	127959	129051
Прибыль (+), убыток (-) от реализации бычков, руб./ Profit (+), loss (-) from the sale of bull calves, rub.	26439,8	28534,9	29223,7
Рентабельность производства, %/ Production profitability, %	26,74	28,70	29,27

Примечание: * – с учетом затрат на круглогодичное содержание коровы

Note: * – taking into account the costs of keeping a cow all year round

Установлено, что коррекция элементного статуса у бычков с выявленным дефицитом Se и Zn в сыворотке крови экономически выгодна и позволяет повысить уровень рентабельности производства говядины на величину до 2,53 %.

Обсуждение полученных результатов.

Анализируя полученные результаты, можно выделить, что общей закономерностью, установленной в нашем эксперименте, являлось достоверно значимое увеличение концентраций Se и Zn в сыворотке крови I и II опытных групп по отношению к контрольной. Выявленная закономерность в целом соответствует существующим представлениям о том, что уровень содержания минеральных элементов в крови в первую очередь определяется их поступлением в составе задаваемых рационов. Ранее подобная закономерность была описана в работах Żarczyńska K с соавторами (2013), опубликованных на основании экспериментов по скормливанию бычкам в период доращивания и откорма злаков с повышенным содержанием селена, а также премиксов с включением органической и неорганических форм селена (Juniper DT et al., 2008). В нашем случае интересным представляется факт достоверного снижения Mn, Cu и Fe в ответ на введение комплекса микроэлементов в чистом виде бычкам I опытной группы. Поскольку метаболизм отдельных химических элементов в организме млекопитающих во многом определяется под влиянием интенсивности межэлементных взаимодействий, то выявленная закономерность может быть следствием проявления антагонизма между указанными элементами и вводимыми в рацион дополнительными источниками селена и цинка (Мирошников С.А. и Завьялов О.А., 2020). Кроме того, как было отмечено, многие микроэлементы могут конкурировать за лиганды, тем самым нарушая функции организма, примером чего является антагонизм Zn и Cu. Исходя из этого, можно предположить, что дисбаланс микроэлементов в организме животных может быть спровоцирован не только избытком или дефицитом отдельных химических элементов в рационе, но и являться следствием проявления эффекта антагонизма между различными элементами в процессе конкуренции за металлосвязывающие агенты-транспортеры, в том числе аминокислоты (Muñiz-Naveiro O et al., 2007). Косвенным подтверждением этой гипотезы являются результаты элементного состава сыворотки крови животных II опытной группы, получавших Se и Zn в комплексе с аминокислотой – метионином. В данной группе, напротив, фиксировался достоверный рост концентраций Mn, Cu и Fe. Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что аминокислота – метионин является общим транспортером как для Se и Zn, так и для Mn, Cu и Fe.

Другой интересной на наш взгляд закономерностью, обнаруженной в нашем исследовании, является значительное снижение концентрации Pb в сыворотке крови бычков I и II опытных групп после курса коррекции. Объяснение данного эффекта возможно с учетом ранее проведенных исследований, демонстрирующих наличие значительной взаимосвязи между уровнями Pb и концентрациями других эссенциальных элементов. Так, было установлено, что многие токсические свойства Pb обусловлены способностью замещать эссенциальные элементы (Wang Y et al., 2012). Исходя из этого, можно предположить, что снижение концентрации Pb у животных под действием испытуемых минеральных комплексов является следствием давления обменных пулов Se и Zn на метаболизм Pb. Более того, избыток Pb в организме отчасти объясняет дефицит Se и Zn на фоне сбалансированного по этим минеральным веществам рациона в начале эксперимента.

Полученные в нашем эксперименте данные по увеличению продуктивных качеств в целом согласуются с результатами более ранних исследований и могут объясняться тем, что дефицит Zn отрицательно влияет на иммунитет животных по причине негативного влияния на интенсивность перемещения нейтрофилов и макрофагов, что сопровождается угнетением активности фагоцитоза (Schnabel R et al., 2008). Помимо этого, оптимальное поступление и усвоение цинка животными оказывает значительное влияние на функцию эндокринной системы и, в частности на синтез гормона – тестостерона, играющего немаловажную роль в реализации продуктивного потенциала крупного рогатого скота, что подтверждают результаты оценки гормонального статуса бычков в эксперименте (Bonaventura P et al., 2015). Некоторые авторы отмечают, что эффекты Zn в стимуля-

ции роста животных, вероятно, обусловлены его способностью выступать в качестве кофактора выработки инсулина и метаболических ферментов. Опосредованное влияние цинка на продуктивные качества бычков может также проявляться через обнаруженную ранее его способность инициировать выработку оксида азота макрофагами, последний в свою очередь является важным звеном в процессе уничтожения вредной микрофлоры в желудочно-кишечном тракте. В частности, результаты недавно проведенных исследований показали, что дополнительное включение органических источников Zn мясным бычкам сопровождалось снижением количества колоний энтеробактерий в рубце и увеличивало концентрации бутирата и ацетата, что в конечном итоге положительно сказалось на показателях мясной продуктивности скота (Hou P et al., 2023; Шошина О.В. и др., 2022). Однако одним из главных свойств, через которое Se и Zn способны опосредовано влиять на показатели продуктивности крупного рогатого скота, является их способность снижать уровень окислительного стресса за счет участия в реализации функции антиоксидантной защиты, через воздействие на активность ферментов супероксиддисмутазы и каталазы (Фролов А.Н. и Завьялов О.А., 2024). Подтверждением снижения окислительного стресса в нашем эксперименте является установленный факт достоверного снижения уровня малонового диальдегида в сыворотке крови бычков опытных групп на фоне скармливания добавок Se и Zn.

Заключение.

Таким образом, для коррекции элементного статуса мясных бычков по недостатку Se и Zn в сыворотке крови целесообразно использовать органические формы этих элементов в сочетании с метионином, что сопряжено с максимальным влиянием на морфологические и биохимические показатели крови и сопровождается увеличением среднесуточных приростов и мясной продуктивности. Коррекция элементного статуса у бычков с выявленным дефицитом Se и Zn в сыворотке крови экономически выгодна и позволяет повысить уровень рентабельности производства говядины до 2,53 %.

Список источников

1. Мирошников С.А., Завьялов О.А. Апробация технологии выявления и коррекции элементозов молочных коров по элементному составу шерсти // Аграрный вестник Урала. 2020. № 5(196). С. 38-50. [Miroshnikov SA, Zavyalov OA. Approbation of identification and correction technology for dairy cows elementosis according to hair elemental composition. Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;5(196):38-50. (In Russ.)]. doi: 10.32417/1997-4868-2020-196-5-38-50
2. Мирошников С.А., Тюлебаев С.Д., Кадышева М.Д. Элементный статус животных и его распределение в среде телок с различным аллельным набором генов, ассоциированных с качеством говядины // Вестник КРАСГАУ. 2023. № 5(194). С. 135-142. [Miroshnikov SA, Tyulebaev SD, Kadyшева MD. Elemental status of animals and its distribution among heifers with different allele set of genes associated with beef quality. Bulletin of KSAU. 2023;5(194):135-142. (In Russ.)]. doi: 10.36718/1819-4036-2023-5-135-142
3. Сравнительный анализ влияния различных форм хрома на пищеварительные процессы в рубце телят / О.В. Шошина, С.В. Лебедев, Е.В. Шейда, В.И. Корнейченко // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 1. С. 31-38. [Shoshina OV, Lebedev SV, Sheyda EV, Korneychenko VI. Comparative analysis of the effect of different chromium forms on digestive processes in the rumen of calves. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(1):31-38. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-1-31
4. Фролов А.Н., Завьялов О.А. Влияние сезона года на элементный статус и продуктивные качества бычков // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 4. С. 31-40. [Frolov AN, Zavyalov OA. The influence of season on the elemental status and productive qualities of bulls. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(4):31-40. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-31

5. Харламов А.В., Фролов А.Н., Ильин В.В. Влияние кормовых добавок, содержащих Zn и Se органической формы, на продуктивные и гематологические показатели бычков чёрно-пёстрой породы при заключительном откорме // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 3. С. 79-88. [Kharlamov AV, Frolov AN, Ilyin VV. The influence of feed additives containing organic Zn and Se on productive and hematological parameters of Black Spotted bulls on final fattening. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(3):79-88. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-3-79
6. Abuelo A, Alves-Nores V, Hernandez J, Muiño R, Benedito JL, Castillo C. Effect of par-enteral antioxidant supplementation during the dry period on postpartum glucose tolerance in dairy cows. J Vet Intern Med. 2016;30(3):892-898. doi: 10.1111/jvim.13922
7. Bonaventura P, Benedetti G, Albarède F, Miossec P. Zinc and its role in immunity and inflammation. Autoimmun Rev. 2015;14(4):277-285. doi: 10.1016/j.autrev.2014.11.008
8. García-Vaquero M, Miranda M, Benedito JL, Blanco-Penedo I, López-Alonso M. Effect of type of muscle and Cu supplementation on trace element concentrations in cattle meat. Food Chem Toxicol. 2011;49(6):1443-1449. doi: 10.1016/j.fct.2011.03.041
9. Hou P, Li B, Wang Y, Li D, Huang X, Sun W, Liang X, Zhang E. The effect of dietary supplementation with zinc amino acids on immunity, antioxidant capacity, and gut microbiota composition in calves. Animals (Basel). 2023;13(9):1570. doi: 10.3390/ani13091570
10. Juniper DT, Phipps RH, Ramos-Morales E, Bertin G. Effect of dietary supplementation with selenium-enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in beef cattle. J Anim Sci. 2008;86(11):3100-3109. doi: 10.2527/jas.2007-0595
11. Miroshnikov SA, Notova SV, Skalnaya MG, Ajsuvakova OP, Tinkov AA. Speciation of serum copper and zinc-binding high- and low-molecular mass ligands in dairy cows using HPLC-ICP-MS technique. Biol Trace Elem Res. 2022;200(2):591-599. doi: 10.1007/s12011-021-02666-6
12. Muñiz-Naveiro O, Domínguez-González R, Bermejo-Barrera A, Bermejo-Barrera P, Cocho JA, Fraga JM. Selenium speciation in cow milk obtained after supplementation with different selenium forms to the cow feed using liquid chromatography coupled with hydride generation-atomic fluorescence spectrometry. Talanta. 2007;71(4):1587-1593. doi: 10.1016/j.talanta.2006.07.040
13. Pace NJ, Weerapana E. Zinc-binding cysteines: diverse functions and structural motifs. Biomolecules. 2014;4(2):419-434. doi: 10.3390/biom4020419
14. Schnabel R, Lubos E, Messow CM, Sinning CR, Zeller T, Wild PS, Peetz D, Handy DE, Munzel T, Loscalzo J, et al. Selenium supplementation improves antioxidant capacity in vitro and in vivo in patients with coronary artery disease: The SElenium Therapy in Coronary Artery disease Patients (SETCAP). Study. Am Heart J. 2008;156(6):1201.e1-1201.e11. doi: 10.1016/j.ahj.2008.09.004
15. Wang Y, Ou YL, Liu YQ, Xie Q, Liu QF, Wu Q, Fan TQ, Yan LL, Wang JY. Correlations of trace element levels in the diet, blood, urine, and feces in the Chinese male. Biol Trace Elem Res. 2012;145(2):127-135. doi: 10.1007/s12011-011-9177-8
16. Żarczyńska K, Sobiech P, Radwińska J, Rękawek W. Effects of selenium on animal health. J Elemntol. 2013;18:329-340. doi: 10.5601/jelem.2013.18.2.12

References

1. Miroshnikov SA, Zavyalov OA. Approbation of identification and correction technology for dairy cows elementosis according to hair elemental composition. Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;5(196):38-50. doi: 10.32417/1997-4868-2020-196-5-38-50
2. Miroshnikov SA, Tyulebaev SD, Kadysheva MD. Elemental status of animals and its distribution among heifers with different allele set of genes associated with beef quality. Bulletin of KSAU. 2023;5(194):135-142. doi: 10.36718/1819-4036-2023-5-135-142

3. Shoshina OV, Lebedev SV, Sheyda EV, Korneychenko VI. Comparative analysis of the effect of different chromium forms on digestive processes in the rumen of calves. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):31-38. doi: 10.33284/2658-3135-105-1-31
4. Frolov AN, Zavyalov OA. The influence of season on the elemental status and productive qualities of bulls. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):31-40. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-31
5. Kharlamov AV, Frolov AN, Ilyin VV. The influence of feed additives containing organic Zn and Se on productive and hematological parameters of Black Spotted bulls on final fattening. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(3):79-88. doi: 10.33284/2658-3135-107-3-79
6. Abuelo A, Alves-Nores V, Hernandez J, Muiño R, Benedito JL, Castillo C. Effect of par-
enteral antioxidant supplementation during the dry period on postpartum glucose tolerance in dairy cows. *J Vet Intern Med*. 2016;30(3):892-898. doi: 10.1111/jvim.13922
7. Bonaventura P, Benedetti G, Albarède F, Miossec P. Zinc and its role in immunity and in-
flammation. *Autoimmun Rev*. 2015;14(4):277-285. doi: 10.1016/j.autrev.2014.11.008
8. García-Vaquero M, Miranda M, Benedito JL, Blanco-Penedo I, López-Alonso M. Effect
of type of muscle and Cu supplementation on trace element concentrations in cattle meat. *Food Chem
Toxicol*. 2011;49(6):1443-1449. doi: 10.1016/j.fct.2011.03.041
9. Hou P, Li B, Wang Y, Li D, Huang X, Sun W, Liang X, Zhang E. The effect of dietary
supplementation with zinc amino acids on immunity, antioxidant capacity, and gut microbiota composi-
tion in calves. *Animals (Basel)*. 2023;13(9):1570. doi: 10.3390/ani13091570
10. Juniper DT, Phipps RH, Ramos-Morales E, Bertin G. Effect of dietary supplementation
with selenium-enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in beef
cattle. *J Anim Sci*. 2008;86(11):3100-3109. doi: 10.2527/jas.2007-0595
11. Miroshnikov SA, Notova SV, Skalnaya MG, Ajsuvakova OP, Tinkov AA. Speciation of
serum copper and zinc-binding high- and low-molecular mass ligands in dairy cows using HPLC-ICP-MS
technique. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(2):591-599. doi: 10.1007/s12011-021-02666-6
12. Muñiz-Naveiro O, Domínguez-González R, Bermejo-Barrera A, Bermejo-Barrera P,
Cocho JA, Fraga JM. Selenium speciation in cow milk obtained after supplementation with different sele-
nium forms to the cow feed using liquid chromatography coupled with hydride generation-atomic fluores-
cence spectrometry. *Talanta*. 2007;71(4):1587-1593. doi: 10.1016/j.talanta.2006.07.040
13. Pace NJ, Weerapana E. Zinc-binding cysteines: diverse functions and structural motifs.
Biomolecules. 2014;4(2):419-434. doi: 10.3390/biom4020419
14. Schnabel R, Lubos E, Messow CM, Sinning CR, Zeller T, Wild PS, Peetz D, Handy DE,
Munzel T, Loscalzo J, et al. Selenium supplementation improves antioxidant capacity in vitro and in vivo
in patients with coronary artery disease: The SElenium Therapy in Coronary Artery disease Patients
(SETCAP). Study. *Am Heart J*. 2008;156(6):1201.e1-1201.e11. doi: 10.1016/j.ahj.2008.09.004
15. Wang Y, Ou YL, Liu YQ, Xie Q, Liu QF, Wu Q, Fan TQ, Yan LL, Wang JY. Correla-
tions of trace element levels in the diet, blood, urine, and feces in the Chinese male. *Biol Trace Elem Res*.
2012;145(2):127-135. doi: 10.1007/s12011-011-9177-8
16. Żarczyńska K, Sobiech P, Radwińska J, Rękawek W. Effects of selenium on animal
health. *J Elemntol*. 2013;18:329-340. doi: 10.5601/jelem.2013.18.2.12

Информация об авторах:

Олег Александрович Завьялов, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник
отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр
биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Ян-
варя, д. 29, тел.: 8(3532)30-81-78.

Ерлан Сагитович Медетов, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8(3532)30-81-78.

Файзулло Сафарович Амиршоев, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент Таджикской академии сельскохозяйственных наук, вице-президент Таджикской академии сельскохозяйственных наук, 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудакки 21 "А", тел.: 810992372310607.

Алексей Михайлович Гулюкин, доктор ветеринарных наук, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории эпизоотологии, Федеральный исследовательский центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Ю.Р. Коваленко Российской академии наук, 109428, Москва, Рязанский проспект, д. 24, стр. 1.

Information about the authors:

Oleg A Zavyalov, Dr Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8(3532)30-81-78.

Erlan S Medetov, Cand. Sci. (Agriculture), Junior Researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8(3532)30-81-78.

Faisulo S Amirshoev, Dr Sci. (Biology), Professor, Corresponding Member of the Tajik Academy of Agricultural Sciences, Vice-President of the Tajik Academy of Agricultural Sciences, 21 "A", Rudaki Avenue, Republic of Tajikistan, Dushanbe, 734025, tel.: 810992372310607.

Alexey M Gulyukin, Dr. Sci (Veterinary), Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Epizootology, Federal Research Center–All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Scriabin and Y.R. Kovalenko of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 24, Ryazanskiy prospect, build. 1, Moscow, 109428.

Статья поступила в редакцию 02.12.2024; одобрена после рецензирования 06.06.2025; принята к публикации 15.09.2025.

The article was submitted 02.12.2024; approved after reviewing 06.06.2025; accepted for publication 15.09.2025.