

**ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА ОРГАНИЗМА НА ФОНЕ  
ЭНЗИМСОДЕРЖАЩЕГО РАЦИОНА****К.С. Нечитайло<sup>1,2</sup>, Е.А. Сизова<sup>1,2</sup>***ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН», Оренбург, Россия  
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»***Введение**

В промышленном птицеводстве корм является основополагающим фактором, (преимущественно до 70 %) определяющим конечную стоимость продукции. Оптимальный баланс питательных веществ является основным фактором устойчивого производства животного белка, поскольку обеспечивает максимальное использование нутриентов при их минимальном выведении [4]. В существующих экономических реалиях, птицеводы вынуждены использовать более дешевые кормовые ингредиенты, в результате снижается не только затраты, но и конечный выход продукции. При этом, в подобных компонентах содержится большое количество антипитательных факторов, таких как фитиновая кислота, ксилан,  $\beta$ -глюкан, оказывающих негативное влияние на полноценное высвобождение и усвоение питательных веществ рациона [10]. Нивелировать их действие способны экзогенные энзимы. Кроме того, доказано, что энзимы способны увеличивать продуктивность цыплят-бройлеров, за счет снижения вязкости кишечного содержимого и модуляции микробиоты желудочно-кишечного тракта [5, 8]. Включение экзогенных энзимов может стать ключевым решением для устойчивого развития птицеводческой отрасли. Однако, улучшение усвояемости нутриентов может способствовать избыточной биоаккумуляции микроэлементов, в том числе токсичных [2, 7]. Существует тесная взаимосвязь между нутриентной обеспеченностью и обменом химических элементов в организме. Дефицит или избыточное накопление элементов в организме животного сопровождается выраженными метаболическими изменениями [3].

**Цель работы** – изучение особенностей элементного статуса организма на фоне энзимсодержащего рациона.

**Материалы и методы**

Экспериментальные исследования выполнены на цыплятах-бройлерах (кросс Арбор-Айкрес (Авиаген)) на базе вивария ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии». В соответствии с принципом аналогичных групп, были отобраны цыплята ( $n=70$ ) и сформированы контрольная и опытная группы.

В ходе эксперимента, животных были выращены в рамках инструкций и рекомендаций российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08 1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). Исследование сопровождалось с соблюдением ряда мер, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества исследованных опытных образцов.

Цыплята контрольной группы получали основной рацион, в опытной группе помимо стандартной кормосмеси вводили мультиэнзимную кормовую добавку – Акстра ХАР 102 ТРТ (ООО «Данзим», Россия) в дозе 0,05 %. В состав которой входит эндо – 1,4 – бета-ксилаза (4000 ед./г), альфа-амилаза (400 ед./г), субтилизин (8000 ед./г). Продуценты: *Bacillus subtilis*, *Trichoderma reesei* и *Bacillus licheniformis*.

На протяжении всего опыта условия содержания и кормления были идентичными во всех группах с соблюдением основной технологии выращивания цыплят кросса Арбор-Айкрес. При этом, кормление цыплят-бройлеров на протяжении всех экспериментальных периодов проводилось полнорационным комбикормом по периодам выращивания с учетом рекомендаций ВНИТИП. За основу рациона была взята пшенично-кукурузно-ячменная кормосмесь.

Лабораторные исследования осуществлялись с использованием материально-технической базы Центра коллективного пользования биологических систем и агротехнологий РАН (ЦКП ФНЦ БСТ РАН) (<https://ckp-rf.ru/ckp/77384/>).

Элементный состав биосубстратов и комбикормов, который включал определение 25 химических элементов: Ca, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, As, Cr, K, Na, P, Zn, I, V, Co, Se, Al, B, Cd, Pb, Hg, Sn, Si, Sr. Озоление биосубстратов было проведено с использованием микроволновой системы разложения Berghof SW 4 (Berhof, Germany). Оценка содержания элементов было осуществлено с использованием методов атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии на оборудовании ELAN DRC-e 9000 (Perkin Elmer, USA) в институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева, Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» города Апатиты.

Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлена с применением программного пакета «Statistica 12.» («StatSoft Inc.», USA) и «Microsoft Excel». Проверка на нормальность распределения данных проводилась с использованием критерия согласия Колмогорова–Смирнова. С целью оценки статистической значимости был использован параметрический  $t$  – критерий Стьюдента независимых групп.

### Результаты и обсуждение

Результат анализа полученных данных свидетельствует о влиянии мультиэнзимной добавки на элементный состав биосубстратов цыплят-бройлеров (рисунки 1–3).

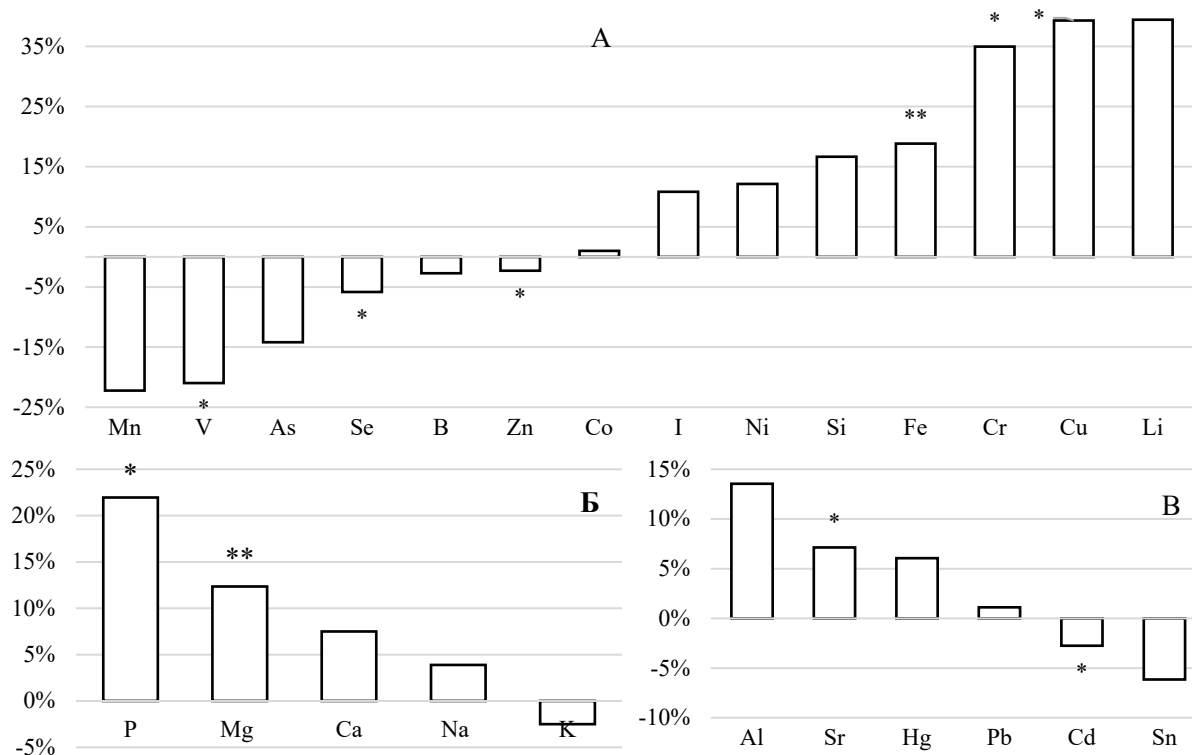


Рисунок 1 – Разница концентрации химических элементов в кожном покрове цыплят-бройлеров: А) Эссенциальные и условно-эссенциальные микроэлементы; Б) Макроэлементы; В) Токсичные элементы

В частности, при изучении элементного состава биосубстратов цыплят-бройлеров установлено, что в опытной группе в кожном покрове среди эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов была увеличена концентрация меди на 39,39 % ( $P \leq 0,05$ ), хрома на 34,96 % ( $P \leq 0,05$ ) и железа на 18,85 % ( $P \leq 0,01$ ) с одновременным снижением селена на 5,83 % ( $P \leq 0,05$ ), цинка на 2,29 % ( $P \leq 0,05$ ) и ванадия на 20,97 % ( $P \leq 0,05$ ) по отношению к контролю. Среди макроэлементов отметим статистически значимое увеличение фосфора и магния на 21, 95 % и 12,35 % ( $P \leq 0,05$ ) соответственно в сравнении с контролем. По токсичным элементам выявлено увеличение стронция на 7,14 % ( $P \leq 0,05$ ) и снижения кадмия на 2,76 % ( $P \leq 0,05$ ) в опыте по отношению к контролю.

В мышечной ткани цыплят-бройлеров опытной группы было установлено среди эссенциальных и условно-эссенциальных элементов увеличение концентрации кобальта на 15,89 % ( $P \leq 0,05$ ), железа на 16,5 % ( $P \leq 0,01$ ) и хрома на 22,29 % ( $P \leq 0,05$ ) (рисунок 2). При этом, было отмечено снижение ванадия на 22,53 % ( $P \leq 0,05$ ) и селена на 7,69 % ( $P \leq 0,05$ ) в сравнение с контролем. При оценке концентрации макроэлементов в мышечной ткани, отметим тенденцию к увеличению кальция, натрия и снижению калия, со статистически значимым увеличением магния на 10,31 % ( $P \leq 0,05$ ) и фосфора на 19,54 % ( $P \leq 0,05$ ). По токсичным микроэлементам ситуация сложилась следующим образом: выявлена тенденция к увеличению алюминия, стронция и свинца, со статистически значимым снижением кадмия на 4,68 % ( $P \leq 0,05$ ) в сравнение с контролем.

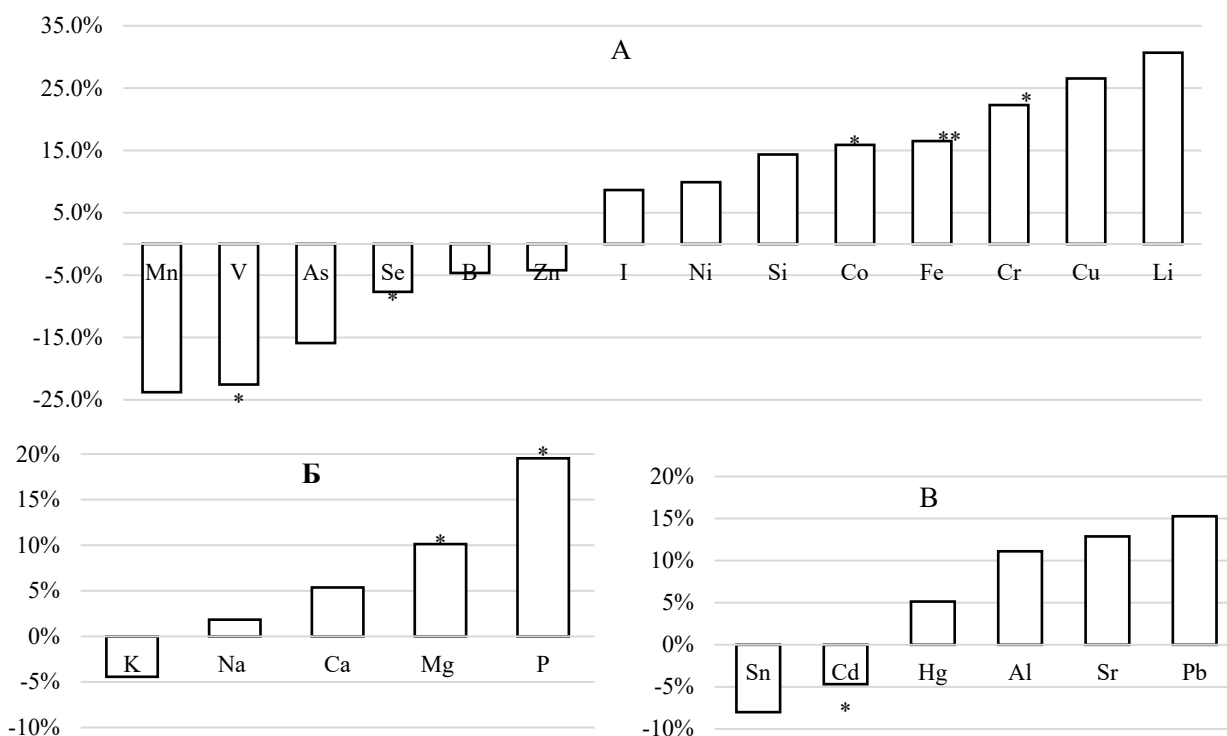


Рисунок 2 – Разница концентрации химических элементов в мышечной ткани цыплят-бройлеров: А) Эссенциальные и условно-эссенциальные микроэлементы; Б) Макроэлементы; В) Токсичные элементы.

Элементный анализ внутренних органов свидетельствовал о парадоксальной ситуации, среди всех элементов, большая часть стремилась к снижению (рисунок 3). В частности, по эссенциальным и условно-эссенциальным микроэлементам в опытной группе наблюдалось снижение селена на 28,29 % ( $P \leq 0,05$ ), цинка на 25,6 % ( $P \leq 0,05$ ), кремния на 2,77 % ( $P \leq 0,05$ ) и железа на 9,5 % ( $P \leq 0,05$ ), с увеличением меди на 6,07 % ( $P \leq 0,05$ ) в сравнение с контролем. Среди макроэлементов в опытной группе были увеличены кальций на 18,15 % ( $P \leq 0,05$ ) и магний на 14,45 % ( $P \leq 0,05$ ). Кроме этого, прослеживалась тенденция к снижению ряда токсичных элементов: олово, кадмий, ртуть, алюминий. Статистически значимое снижение отмечено в отношении стронция, разница с контролем 12,33 % ( $P \leq 0,01$ ).

Скорость накопления и конверсия веществ представляют собой емкие и информативные показатели обменных процессов в организме. В ходе исследования выявлены элементы, характеризующиеся схожей скоростью накопления между контрольной и опытной группами. В частности, к ним относятся кремний, никель, магний, йод, кальций, натрий. Высокими показателями скорости накопления характеризовались такие элементы как медь, хром, железо, фосфор, алюминий. Максимальная разница с контролем отмечена в отношении меди и хрома и составила 33,04 % ( $P \leq 0,05$ ) и 19,43 % ( $P \leq 0,05$ ) по отношению к контролю. Скорость накопления железа была также увеличена на 8,11 % ( $P \leq 0,05$ ). Снижение скорости накопления при введении мультиэнзимной добавки наблюдалось в отношении

марганца, ванадия, мышьяка, олово, селена, бора, цинка, кадмия, калия. Скорость накопления мышьяка была снижена на 24,66 % ( $P \leq 0,05$ ), олова на 18,57 % ( $P \leq 0,05$ ), селена на 18,07 % ( $P \leq 0,05$ ), цинка на 14,86 % ( $P \leq 0,05$ ). Тенденция к выведению отмечена в отношении марганца и ванадия.

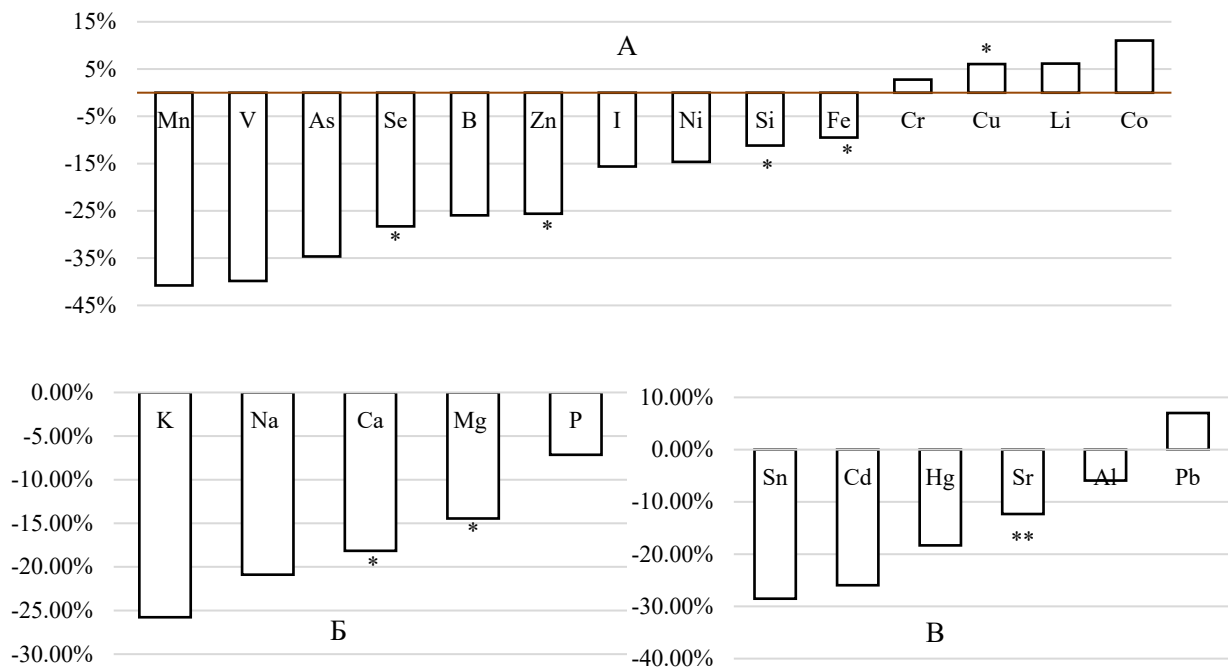


Рисунок 3 – Разница концентрации химических элементов во внутренних органах цыплят-бройлеров: А) Эссенциальные и условно-эссенциальные микроэлементы; Б) Макроэлементы; В) Токсичные элементы

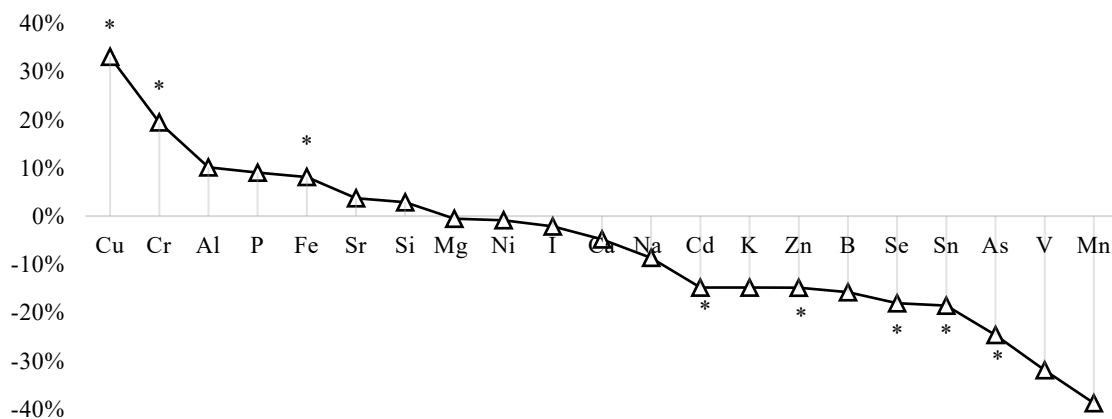


Рисунок 4 – Разница скорости накопления химических элементов в организме цыплят-бройлеров опытной группы по сравнению с контрольной

Для установления биоаккумуляции химических элементов в организме цыплят-бройлеров, проведен анализ их конверсии за период опыта (таблица 1). Выявлено, что на фоне энзимсодержащего рациона эффективность использования кобальта, хрома, меди, железа, лития, кремния возрастает, с одновременным снижением конверсии селена, кадмия, мышьяка и олова. Увеличение конверсии хрома в опытной группе составило 19,61 % ( $P \leq 0,05$ ), меди – 32,87 % ( $P \leq 0,01$ ), железа – 8,02 % ( $P \leq 0,05$ ), лития – 19,95 % ( $P \leq 0,05$ ). Снижение конверсии отмечено в отношении мышьяка на 24,6 % ( $P \leq 0,05$ ), селена на 18,05 % ( $P \leq 0,05$ ), кадмия на 14,76 % ( $P \leq 0,01$ ) и свинца на 1,91 % ( $P \leq 0,05$ ).

Таким образом, введение мультиэнзимной добавки обеспечивает гомеостатические изменения элементного статуса, это выражается в первую очередь изменением конверсии, а также скорости накопления элементов, что в последующем сказывается на перераспределении в тканях и органах

цыплят-бройлеров. В частности, экзогенные энзимы такие как амилаза, липаза, протеаза воздействует непосредственно на компоненты злаковой клетки. Корма содержат микроэлементы, но антипитательные факторы, в частности некрахмальные полисахариды, влияют непосредственно на их биодоступность. Таким образом, энзимы нивелируя действие антипитательных факторов и улучшая переваримость и эффективность абсорбции, способны увеличивать общую биодоступность ряда микроэлементов [9].

Таблица 1 – Конверсия химических элементов в организме цыплят-бройлеров за период опыта, мг/кг

Элемент	Группа	
	Контроль	Опыт
As	0,142±0,0037	0,107±0,0045*
B	0,012±0,0015	0,010±0,0005
Co	0,061±0,0038	0,082±0,0031
Cr	2,671±0,0678	3,193±0,0143*
Cu	0,063±0,0083	0,083±0,0036**
Fe	0,074±0,0039	0,080±0,0034*
I	0,026±0,0028	0,026±0,0010
Li	0,038±0,0007	0,045±0,0021*
Mn	0,004±0,0005	0,003±0,0001
Ni	0,029±0,0031	0,029±0,0011
Se	0,722±0,0274	0,592±0,0229*
Si	0,224±0,0028	0,283±0,0102*
V	0,050±0,0052	0,034±0,0013
Zn	0,146±0,0163	0,124±0,0050
Al	0,044±0,0046	0,046±0,0018
Cd	0,109±0,0011	0,093±0,0034**
Hg	0,081±0,0088	0,077±0,0031
Pb	0,103±0,0047	0,101±0,0024*
Sn	0,184±0,2769	0,137±0,1993
Sr	0,012±0,0014	0,012±0,0005

соотношений микро- и макроэлементов непосредственно сказывается на деятельность организма, могут снижать или повышать общую сопротивляемость, а следовательно, и способность к адаптации [1]. Внутриклеточная компартментализация микроэлементов и минералов осуществляется полимодальными путями и сопровождается возникновением антагонистических и синергетических отношений, с одной стороны, и взаимодействием с сигнальными системами и геномным аппаратом клетки – с другой. Изменения в концентрации микроэлементов в кожном покрове затрагивает ряд токсичных элементов, данный момент связан с их свойством – участие в саногенетической регуляции [6].

Следовательно, учитывая скрытые адаптационные механизмы, связанные с перераспределением химических элементов по органам и тканям, представляющих собой как ретенцию, так и непосредственно метаболизм, введение мультиэнзимной добавки в рацион цыплят-бройлеров способствует активному высвобождению связанных микроэлементов и стимуляции системы регуляции уровня микроэлементов.

### Заключение

Исследование влияния мультиэнзимной добавки, введенной в рацион цыплят-бройлеров, указывает на различную скорость накопления элементов в организме, их перераспределение и всасываемость. Мультиэнзимная добавка приводит к увеличению конверсии хрома, меди, железа, лития, с одновременным снижением конверсии мышьяка, селена, кадмия и свинца. При этом, высокими показателями скорости накопления характеризовались такие элементы как медь, хром, железо, фосфор, алюминий.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 20–16–00078-П.*

Ксилан представляет большую часть некрахмальных полисахаридов входящих в состав клеточной стенки пшеницы, ячменя и кукурузы. Ксилан, как и другие некрахмальные полисахариды образует комплексы с химическими элементами посредством электростатических взаимодействий. Он будет депротонирован при нейтральном pH, и поэтому такие ионы, как  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$ , будут взаимодействовать с отрицательно заряженными группами [10]. Учитывая тот факт, что в исследовании рацион цыплят-бройлеров представлял пшенично-кукурузно-ячменную кормосмесь, добавление ксиланазы будет способствовать усилению высвобождения микроэлементов. Данный факт был подтвержден увеличением скорости накопления и конверсии хрома, меди, железа и лития. Включаясь в общий метаболический пул, элементы будут оказывать влияние на продуктивность животных, снижая затраты корма.

Любые изменения в системе

### Литература

1. Алиджанова, И.Э. Элементный статус лабораторных животных Как проявление адаптации к воздействию эндогенных факторов / И.Э. Алиджанова, С.В. Нотова, С.А. Мирошников // Животноводство и кормопроизводство. – 2014. – Т. 4. – № 87. – С. 96–100.
2. Лебедев, С.В. Выбор биоиндикаторов для оценки элементного статуса животных / С.В. Лебедев, А.В. Харламов, М.Я. Курилкина // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т. 102. – № 1. – С. 71–78. doi:10.33284/2658–3135–102–1–71
3. Лебедев, С.В. Элементный статус организма кур при введении в рацион ферментных, пробиотических и антибиотических препаратов / С.В. Лебедев // Животноводство и кормопроизводство. – 2013. – № 82. – С. 88–93.
4. Лебедев, С.В. Особенности обмена химических элементов в организме кур-несушек при введении в рацион ферментных, пробиотических и антибиотических препаратов / С.В. Лебедев, О.В. Кван, О.Н. Суханова // Животноводство и кормопроизводство. – 2016. – Т. 2. – № 94. – С. 81–90.
5. Нечитайло, К.С. Выращивание цыплят-бройлеров с использованием мультиэнзимной кормовой добавки / К.С. Нечитайло, Е.А. Сизова // Актуальная биотехнология. – 2021. – № 1. – С. 79–81.
6. Радыш, И.В. Введение в элементологию: учебное пособие / И.В. Радыш, А.В. Скальный, С.В. Нотова, О.В. Маршинская, Т.В. Казакова; ФГБНУ ФНИЦ БСТ РАН – Оренбург, 2019 – 183 с.
7. Сизова, Е.А. Экспериментальное моделирование влияния кадмия на элементный статус организма / Е.А. Сизова, А.М. Короткова // Животноводство и кормопроизводство. – 2013. – Т. 4. – № 82. – С. 85–88.
8. Abd El Latif MA, Abdel-Wareth AAA, Daley M, Lohakare J. Effect of Dietary Orange Peel Meal and Multi-Enzymes on Productive, Physiological and Nutritional Responses of Broiler Chickens. *Animals (Basel)*. 2023 Jul 31; 13(15):2473. doi: 10.3390/ani13152473
9. Baker JT, Duarte ME, Holanda DM, Kim SW. Friend or Foe? Impacts of Dietary Xylans, Xylooligosaccharides, and Xylanases on Intestinal Health and Growth Performance of Monogastric Animals. *Animals (Basel)*. 2021 Feb 26; 11(3):609. doi: 10.3390/ani11030609.
10. Yu X, Han J, Li H, Zhang Y, Feng J. The effect of enzymes on release of trace elements in feedstuffs based on in vitro digestion model for monogastric livestock. *J Anim Sci Biotechnol*. 2018 Oct 15; 9:73. doi: 10.1186/s40104–018–0289–2.
11. Yu X, Han J, Li H, Zhang Y, Feng J. The effect of enzymes on release of trace elements in feedstuffs based on in vitro digestion model for monogastric livestock. *J Anim Sci Biotechnol*. 2018 Oct 15; 9:73. doi: 10.1186/s40104–018–0289–2.