

ОСОБЕННОСТИ МЕЖЭЛЕМЕНТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ОРГАНИЗМЕ ЖИВОТНЫХ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ НУТРИЕНТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

В ходе исследований по оценке влияния ферментных препаратов на обмен химических элементов в организме карпа и кур-несушек выявлены достоверные изменения концентраций в теле животных кобальта, никеля, свинца и т. д. Установлены специфические особенности межэлементных взаимодействий в организме, выражающиеся в снижении числа отрицательных корреляционных связей между массами элементов в 3-4 раза. Наличие экзогенных энзимов в рационе приводит к нивелированию действия колебаний уровня белка в рационе карпа на обмен макроэлементов.

Химические элементы являются жизненно важными компонентами пищи гетеротрофов, необходимыми для построения структур живых тканей и осуществления важнейших биохимических и физиологических процессов, лежащих в основе жизнедеятельности организма. Адекватное содержание и состав химических элементов являются важнейшим базовым элементом гомеостаза живых организмов [1, 2, 3].

В силу целого ряда объективных причин обмен отдельных химических элементов в организме животного невозможен без специфических взаимодействий с другими элементами по причине их лабильности и способности к образованию связей. Подтверждением этого является значительный багаж знаний, накопленных современной наукой [4, 5, 6, 7].

Межэлементные взаимодействия в метаболизме могут осуществляться через реакцию элементов с металлотиионами, сродство которых, например, к Cu, Zn и Cd различно. В этой связи введение Fe повышает всасывание в кишечнике Zn, Pb и Cd, а увеличение содержания Mo является причиной недостаточности Cu и т. д. [8].

Между тем в силу тесной зависимости ферментативных процессов в организме животного от нутриентной обеспеченности межэлементные взаимодействия могут рассматриваться как специфические характеристики метаболизма во всех его сложных проявлениях. В качестве подтверждения этого могут рассматриваться следующие материалы.

Материалы и методы. Исследования были выполнены на модели карпа и кур. Экспериментальные исследования на рыбе проведены в условиях аквариумного стенда, состоящего из 6 аквариумов по 0,3 м³ каждый, оборудованных системой фильтрации и на-

сыщения воды кислородом, при температуре воды 28 ± 1 °С.

Схема выполнения обоих опытов была сходной – из 180 годовиков карпа навеской 20–30 г методом аналогов было сформировано шесть групп (n=30), которых в течение 30 суток содержали в одинаковых условиях. Затем в I опыте особей I и II групп перевели на рацион с содержанием протеина 40–42% (рецепт РГМ-8В), III и IV – 32–35%, V и VI – 25–27%. Во II опыте – 25–27, 18–20 и 11–13% соответственно. При этом особи II, IV и VI групп дополнительно получали ферментный препарат Амилосубтилиин ГЗх в количестве 0,05%.

Ферментный препарат Амилосубтилиин ГЗх – мультиэнзимный комплекс, полученный на основе бактериальной культуры *Bac. subtilis*, стандартизируется по амилолитической активности (540-660 ед/г), содержит протеазы с совокупной активностью не менее 4,6 ед/г [9].

Условия содержания и кормления карпа регламентировались рыбоводно-биологическими нормативами, рекомендованными ВНИИПРХа (1986).

Исследования на курах выполнены на модели кур родительского стада породы плимутрок линии С₄ кросса бройлеров Смена. С этой целью было сформировано две группы недельных курочек породы плимутрок (n=50), которые в течение двух недель содержались в условиях подготовительного периода и 60 недель учетного периода на рационах, различавшихся наличием ферментного препарата – МЭК-ЦГАП, вводимого в дозе 0,1%. Мультиэнзимная композиция с целлюлазной, в-глюкоказной, амилолитической и протеолитической активностью соответственно в 10 МЕ/г, 100, 100 и 2 ед./г. По химическому составу данный премикс состоял из 85,3% золы, 9,5 протеина и 5,2% безазотистых экстрактивных веществ.

Элементный состав биосубстратов оценивали в лаборатории АНО «Центр биотической медицины», г. Москва (аттестат аккредитации ГСЭН.RU.ЦОА.311). Определение элементного состава оцениваемых биосубстратов производили методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой на приборах Optima 2000 DV и ELAN 9000 (Perkin Elmer, США). Пробоподготовка осуществлялась методом микроволнового разложения на приборе Multi WAVE 3000, A. Paar.

Основные данные, полученные в опыте, были подвергнуты статистической обработке по Г.Ф. Лакину [10].

Результаты исследований. Наличие ферментного препарата в рационе сопровождалось достоверными изменениями в элементном составе тканей подопытных животных (табл. 1).

Оценка достоверных различий между сравниваемыми группами по содержанию химических элементов позволила выявить сходные изменения в метаболизме в организме кур и карп

Таблица 1. Содержание химических элементов в теле подопытных животных на момент окончания исследований, мг/кг

Элемент	Исследования на моделях			
	карпа		кур	
	группа			
	контрольная [^]	опытная [^]	контрольная	опытная
Ca	6 169±91,4	5 740±151,7*	10 700±400,0	10 100±100,0
K	2 636±31,0	2 394±37,5***	1 700±180,0	1 600±40,0
Mg	259±3,2	246±4,8*	600±20,0	500±10,0
Na	925±10,6	1 022±14,9***	1 100±130,0	1 000±180,0
P	4 182±53,2	4 022±81,0	6 100±200,0	5 700±100,0
As	0,053±0,0007	0,050±0,0007*	0,053±0,0017	0,053±0,0103
Co	0,016±0,0003	0,015±0,0003**	0,022±0,0007	0,018±0,0005*
Cr	0,17±0,005	0,12±0,002***	0,081±0,0007	0,081±0,0018
Cu	1,2±0,06	1,1±0,06	0,86±0,017	0,81±0,028
Fe	18,5±0,48	18,2±0,40	28,1±0,45	24,7±0,40*
I	1,0±0,02	1,3±0,03***	0,31±0,004	0,30±0,007
Li	0,0054±0,00006	0,0063±0,00010***	–	–
Mn	0,82±0,010	0,79±0,014	0,82±0,024	0,71±0,008**
Ni	0,24±0,003	0,22±0,005***	0,41±0,017	0,32±0,009*
Se	0,20±0,004	0,22±0,004**	0,25±0,008	0,28±0,028
Si	4,4±0,08	5,3±0,11***	–	–
V	0,033±0,0006	0,031±0,0005	0,018±0,0008	0,011±0,0003*
Zn	55,8±1,34	56,4±1,31	26,8±0,57	27,0±0,75
Al	3,0±0,09	3,2±0,06	4,5±0,15	3,7±0,14**
Cd	0,016±0,0009	0,018±0,0011	0,043±0,0019	0,045±0,0015
Hg	0,012±0,0001	0,011±0,0002**	–	–
Pb	0,033±0,0004	0,043±0,0008***	0,041±0,0011	0,033±0,0007**
Sn	0,09±0,001	0,032±0,0004***	–	–
Sr	11,3±0,17	10,1±0,26**	3,6±0,11	3,4±0,09

Примечание: достоверные различия по отношению к контролю
[^] обобщенные данные по I и II опыту для: контрольной по I, III и V группам, опытной по II, IV и VI группам
 * – P≤0,05; ** – P≤0,01; *** – P≤0,001

па. Так, присутствие в рационе ферментных препаратов сопровождалось снижением концентрации кобальта и никеля на 6,7 ($P < 0,01$) и 9,1% ($P < 0,001$) для карпа, 16,8 ($P < 0,05$) и 28,8 ($P < 0,05$)% для кур. Помимо этих показателей имело место снижение концентраций целого ряда других элементов.

В литературе имеются данные о позитивном влиянии ферментных препаратов на усвояемость отдельных минеральных веществ из корма [11].

Вместе с тем существуют данные, согласно которым присутствие ферментных препаратов в рационе может сопровождаться и снижением биологической доступности отдельных элементов питания (в т. ч. Cu, Fe, Zn и т. д.), что на фоне повышения интенсивности потока всасывающихся нутриентов способно нивелировать эффекты от применения данных комплексов [12, 13].

Причем достоверное снижение концентрации железа в тканях тела опытных кур-несушек сопровождалось меньшим выходом данного элемента с яйцом на 9,8%. Сходные различия по свинцу составили 23,4%. Между тем расхождения по выведению Mn, Co, Ni и V с яйцом за опыт были незначительные – 2,4-4,9%.

Однако по целому ряду показателей использование ферментных препаратов на моделях карпа и кур сопровождалось различными эффектами. В частности, действие МЭК-ЦГАП было сопряжено с достоверным снижением свинца на 20% ($P < 0,01$) в теле кур, тогда как скармливание Амилосубтилина привело к достоверному увеличению удельного содержания этого элемента на 30% ($P < 0,001$) в тканях тела рыбы.

Рассматривая межэлементные взаимодействия в организме животных, возникающие на фоне скармливания ферментного препарата, можно отметить, что из общего числа достоверных корреляционных связей между массами химических элементов в теле рыбы по контрольным группам (I, III, V) обоих опытов на долю отрицательных приходилось 50%, тогда как по опытным группам – только 8,3%, причем подавляющее число случаев было связано с обменом токсических элементов. В частности, в контроле только в 9% вариантов отмечалась отрицательная корреляция между эссенциальными элементами: в парах «Si – Ni» ($r = -0,94$) и «Si – Se» ($r = -0,94$).

Для опытных групп ни одного подобного рода взаимодействий не обнаружено.

Действие мультиэнзимного комплекса на обмен отдельных элементов в организме карпа было наиболее выражено для трех токсических элементов – серебро, свинец и стронций, обмен которых изменяется в контексте взаимодействия с метаболизмом других веществ. В частности, общая масса стронция в тканях тела опытной рыбы достоверно коррелирует с фосфором ($r = 0,97$), кобальтом ($r = 0,99$), марганцем ($r = 0,95$) и никелем ($r = 0,97$). В то же время на фоне контрольного рациона ни одной достоверной корреляционной связи стронция с другими веществами не обнаружено.

Совсем по-иному представляются взаимосвязи серебра на фоне дачи энзимов. В частности, характеристики обмена данного элемента с другими веществами по контрольной группе описываются шестью достоверными корреляциями Ag – Mg ($r = 1,0$), Ag – Co ($r = 0,95$), Ag – Cr ($r = 0,99$), Ag – Cu ($r = 0,99$), Ag – Mn ($r = 0,99$), Ag – Pb ($r = 0,94$).

Присутствие энзимов в рационе привело к появлению достоверной корреляционной связи между уровнем серебра и калия в тканях тела. При этом имевшие место взаимосвязи серебра с хромом ($r = 0,99$) и медью ($r = 0,99$) в условиях введения в рацион Амилосубтилина уже не выявлялись, коэффициенты корреляции между данными признаками составляли ($r = 0,04$; $r = 0,23$).

Определенный интерес представляют данные о корреляционных связях между уровнем протеина в рационе и содержанием отдельных элементов в тканях рыбы.

Изменение уровня протеина в опытных рационах с 40-42 до 11-15% в контрольных группах было сопряжено положительными связями с обменом йода ($r = 0,96$) в организме подопытного карпа (табл. 2).

Имели место отрицательные корреляционные связи количества поступающего белка с пулом кальция в организме ($r = -0,988$), калия ($r = -0,965$), цинка ($r = -0,975$) и стронция ($r = -0,999$). Как ни парадоксально, простое введение ферментного препарата свело к минимуму все эти взаимодействия, и только одна зависимость уровня протеина в рационе и количества кальция в теле рыбы сохранилась ($r = -0,998$). Следует отметить, что эта закономерность тривиальна, ибо разворачивается по

принципу «больше белка в рационе – больше скорость роста – меньше доля костной ткани в живой массе – меньше удельная доля кальция».

Действие Аминосубтилина ГЗх по отношению к обмену свинца выражалось в ослаблении антагонизма данного элемента с кальцием. В частности, если в контрольных группах коэффициент корреляции между уровнем кальция и свинца в тканях тела рыбы достигал $r = -0,96$ ($P < 0,05$), то присутствие ферментного препарата в рационе сопровождалось снижением « r » до недостоверных значений. Необходимо отметить, что помимо пары «Pb – Ca» действие ферментов сопровождалось нивелированием взаимодействий между Pb и Ag. Так, наличие достоверной связи между этими элементами в организме карпа I, III и V групп не было подтверждено для II, IV, VI групп обоих экспериментов.

Ранее в работах Мирошникова С.А. и др. [14], Сухановой О.Н. [15] уже описано аналогичное действие ферментного препарата по отношению к обмену свинца.

Вместе с тем дача энзимов рыбе обусловила проявление новых взаимодействий уровня протеина в рационе и натрия ($r = -0,948$), кобальта ($r = -0,965$), никеля ($r = -0,952$), свинца ($r = -0,987$). Причем, как следует из анализа корреляционных связей, между уровнем элементов в корме и их содержанием в теле рыбы толь-

Таблица 2. Корреляция между уровнем протеина в рационе и содержанием отдельных элементов в тканях тела рыбы, $n = 10$ ($r_{критич.} = 0,94$)

Элемент	Группа	
	I, III, V	II, IV, VI
Макроэлементы		
Ca	-0,988*	-0,998*
K	-0,965*	0,660
Na	-0,170	-0,948*
Эссенциальные элементы		
Co	-0,738	-0,965*
I	0,970*	-0,188
Ni	-0,079	-0,952*
Zn	-0,975*	-0,649
Токсические элементы		
Cd	0,963*	0,935
Pb	-0,182	-0,987*
Sr	-0,999*	-0,933

ко одна из ферментобусловленных связей стала следствием увеличения количества оцениваемого вещества в корме. Возможно, что это было связано с поступлением кобальта. Коэффициент корреляции для содержания данного вещества в корме и рыб составил $r = -0,993$.

Таким образом влияние ферментного препарата на элементный статус карпа и кур сопряжено с изменениями специфики обмена химических элементов в организме, что необходимо учитывать при разработке мероприятий по оптимизации ферментсодержащих диет сельскохозяйственных животных.

Список использованной литературы:

1. Агаджанян Н.А., Северин А.Е. Адаптация и экология человека: роль микроэлементов // Материалы II Российской школы «Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы, 25-28 января 1999. – М., 1999. – С. 168-169.
2. Доронин А.Ф., Шендеров Б.А. Функциональное питание. – М.: Изд-во «Грантъ», 2002. – 296 с.
3. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. – М.: Изд. дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. – 272 с.
4. Ершов Ю.А., Плетенева Т.В. Механизмы токсического действия неорганических соединений. – М.: Медицина, 1989. – 272 с.
5. Kirchgessner M. Underwood memorial lecture. Homeostasis and homeorhesis in trace element metabolism // Trace Elements in Man and Animals –TEMA-8 / Eds M. Anke, D. Meissner, C.F. Mills. Dresden, 1993. – P. 4-21.
6. Goyer R.A. Toxic and essential metal interactions // An. Rev. Nutr. – 1997. – N. 17. – P. 37-50.
7. Нотова С.В. Эколого-физиологическое обоснование корректирующего влияния элементного статуса на фундаментальные резервы организма человека // Дисс. на соиск. уч. степени доктора медицин. наук. – Москва, 2005. – 314 с.
8. Brenner I. Metabolic interaction of trace elements // J. Inorg. Biochem. – 1991. – Vol. 43. – N 2/3. P. 282.
9. Петрухин И.В. Корма и кормовые добавки. М.: Росагропромиздат, 1989. – 526с.
10. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
11. Околелова Т.М., Румянцев С.Д., Кулаков А.В. и др. Корма и биологически активные добавки для птицы. – М.: Колос, 1999. – 96 с.
12. Зернов В.С., Казаков В.С. Рост и обмен веществ у молодняка свиней под влиянием целовиридина ГЗх // Сельхоз. биология. – 1985. – №12. – С. 67-69.
13. Мирошников С.А. Действие мультиэнзимных композиций на обмен веществ и использование энергии корма в организме птицы / Дисс... доктор биологических наук – Оренбург, 2002. – 315 с.
14. Мирошников С.А., Кван О.В., Дерябин Д.Г., Нотова С.В. Влияние перорального приема препарата Bifidobacterium Longum на величину эндогенных потерь ионов тяжелых металлов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2005. – №2 (Биоэлементология). – С. 44-46.
15. Суханова О.Н. Влияние антибиотического и пробиотического препаратов на продуктивность и обмен минеральных веществ в организме кур-несушек на фоне энзимсодержащих диет / Дисс. на соиск. уч. степени кандидата биологических наук. – Оренбург, 2007. – 121 с.