

БИОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.054:574.3

АККУМУЛЯЦИЯ ЦИНКА В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ КУР-НЕСУШЕК

И. А. Афонина, кандидат биологических наук
Е. С. Клепцына, кандидат биологических наук, доцент
Томский сельскохозяйственный институт – филиал
ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ
E-mail: eklepcyna@mail.ru

Ключевые слова: тяжелые металлы, цинк, загрязнение, пищевые цепи, аккумуляция, куры

Реферат. Тяжелые металлы, поступая в окружающую среду от источников загрязнения, проникают в организм растений, а затем животных и человека по цепям питания. Цинк относится к числу активных микроэлементов, влияющих на физиологические процессы организма, но в то же время он входит в десятку элементов, отличающихся высокой токсичностью и способностью накапливаться в трофических цепях, оказывая на организм негативное воздействие. Исследования проводились на курах-несушках, для опыта были сформированы пять групп кур: одна – контрольная и четыре опытных, которые получали раствор соли цинка в экспозиции 5 МДУ (2-я группа), 10 МДУ (3-я группа), 20 МДУ (4-я группа) и 30 МДУ (5-я группа). Поступление различных доз цинка в организм кур-несушек привело к значительному его накоплению во всех органах. В больших количествах он способен аккумулироваться в печени, почках, сердце, селезенке, мышцах, перо. Наиболее высок уровень цинка в органах кур 5-й группы при 30 МДУ. Измерения массовых концентраций меди и цинка выполняли методом инверсионной вольтамперометрии после предварительной подготовки проб путем «мокрой» минерализации.

Цинк широко распространен в природе, его среднее содержание в поверхностных слоях почв варьирует от 17 до 125 мг/кг [1]. Источником цинка являются выбросы цветной и черной металлургии, сточные воды гальванических цехов и др. Вокруг свинцово-цинковых заводов радиус площади техногенного рассеяния цинка может превышать 7 км. В почве вблизи автодорог содержание его повышено в 4–10 раз из-за истирания шин, для вулканизации которых используется этот металл [2–4].

Стоки промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также коммунально-бытовые, поступая в природные водоемы, существенно изменяют состав и качество поверхностных вод, способствуют накоплению цинка в донных отложениях [5]. Исследования Т. Ф. Микряковой [6] показали повышенное содержание цинка не только в воде Угличского водохранилища, но и в прибрежной растительности. Значительной оказалась концентрация цинка в пробах воды Рыбинского

водохранилища; по данным А. А. Голенкова и др. [7], она составила 92 ПДК.

Тяжелые металлы, выпадающие на поверхность почвы, аккумулируются в поверхностном (2–5 см) слое. Так, в гумусовом горизонте почв Московской области содержание цинка превышает ПДК в 80 раз. В районах, где расположены предприятия нефтехимической и нефтеперерабатывающей отрасли, уровень цинка в почве составляет 1,7–3,2 ПДК, а вблизи предприятий черной, цветной металлургии и машиностроения – 30–400 ПДК [5, 9–13].

Тяжелые металлы представляют опасность для живых организмов, токсическое их действие проявляется в изменениях лейкоформулы, уровня общего белка, биохимических показателей и др. Под влиянием некоторых тяжелых металлов происходит повышение концентрации общего белка, β -глобулинов и снижение – альбуминов. Поступая в живой организм, металлы-токсиканты чаще всего не подвергаются каким-либо существенным

превращениям, а аккумулируются, включаясь в метаболизм клеток и нарушая его [8, 14].

Цинк, как и другие тяжелые металлы, поступающая в окружающую среду от источников загрязнения, проникает в организм растений, а затем животных и человека по цепям питания. Изучена миграция тяжелых металлов (Pb, Co, As, Cu, Zn) по детритной трофической цепи: почва – опад – дождевые черви – грачи [15].

Т.Г. Дерябина [16] изучала накопление тяжелых металлов в органах, шкурах и шерсти различных животных. По содержанию тяжелых металлов в организме грызуны образуют ряд: насекомоядные > травоядные > семяноядные. Аккумуляция металлов в органах животных специфична: цинк в первую очередь обнаруживается в мышцах и печени. Содержание этого биогенного элемента в органах животных показано в ряду: печень > волосы > почки > мышцы > щитовидная железа [17]. Поступивший в организм птиц цинк в большей степени аккумулировался в почках и печени, а в мышцах в относительно небольших количествах [18].

Избыток цинка в рационе животных может возникать при хранении влажных кормов в оцинкованной посуде, использовании оцинкованных труб водопроводов, при передозировке солей, вводимых в виде премиксов. Наибольшее количество меди и цинка характерно для шрота. По данным Ф.Т. Бингама и др. [19] и О.А. Соколова и др. [5], содержание цинка в кормах меняется в пределах от 2 до 15 раз.

Цель наших исследований – изучение накопления цинка в органах и тканях кур-несушек кросса Родонит в эксперименте при повышенном поступлении элемента в организм.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования были куры-несушки кросса Родонит. Продолжительность эксперимента составила 30 дней. Перед началом опыта компоненты кормовой смеси и питьевую воду исследовали на содержание цинка. Для проведения эксперимента были сформированы пять групп кур одного возраста (180 дней): одна контрольная (30 голов) и четыре опытных по 10 голов в каждой. Содержание птицы – клеточное.

Ежедневно курам разных опытных групп при помощи дозатора выпаивали по 5 мл раствора соли тяжелого металла ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) в экспозиции 5 МДУ (2-я группа), 10 МДУ (3-я группа), 20 МДУ (4-я группа) и 30 МДУ (5-я группа).

По окончании эксперимента был проведен убой кур контрольной и опытных групп. Для анализа на содержание в тканях и органах тяжелых металлов взяли пробы крови, сыворотки, пера, печени, почек, селезенки, сердца, легких, мышц и кости. Уровень накопления цинка в органах и тканях определялся на анализаторе ТА-2 в НПП «Техноаналит». Методика включает в себя предварительную подготовку проб путём «мокрой» минерализации и последующий анализ водного раствора пробы методом инверсионной вольтамперометрии, который основан на способности элементов, накопленных на рабочем электроде из анализируемого раствора, электрохимически растворяться при определенном потенциале, характерном для каждого элемента.

Результаты исследований обработаны методом вариационной статистики на персональном компьютере IBM. Достоверность разности определяли между средними значениями двух выборочных совокупностей с помощью метода Стьюдента (td-критерий).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты эксперимента показали, что цинком наиболее богата костная ткань, тогда как уровень его в мышцах был наименьшим. В таблице показано содержание цинка в мышечной ткани кур разных групп. Данные свидетельствуют о том, что в контрольной группе и при 5 МДУ достоверных различий не было. При 10 МДУ произошло увеличение уровня цинка в 2 раза в сравнении с контролем. В абсолютных значениях при 20 и 30 МДУ количество цинка в мышцах достоверно увеличилось в 3 и 2,5 раза соответственно. Различий в индивидуальной аккумуляции цинка среди кур-несушек не отмечено.

Содержание цинка в сердце достоверно выше, чем в мышцах. Так же как и в случае аккумуляции цинка в мышечной ткани, в группе при 5 МДУ достоверных различий с контролем не наблюдалось. При 10 МДУ отмечен незначительный рост ($P < 0,001$) уровня цинка в сердце. Резкий скачок увеличения концентрации цинка произошел у кур 4-й группы при 20 МДУ, его уровень был выше в 5,5 раза в сравнении с контролем. Дальнейшего роста накопления элемента в сердце (при 30 МДУ) отмечено не было. Такая же закономерность наблюдалась и в отношении динамики аккумуляции цинка в мышцах при 20 и 30 МДУ. Следует отметить, что индивидуальная изменчивость уровня

металла во всех опытных группах была ниже, чем в предыдущем случае.

Содержание цинка в печени в норме не отличалось от его количества в сердце. Однако уже при 5 МДУ наблюдались различия, которые проявились в том, что интенсивность аккумуляции элемента в печени была выше, чем в сердце. При 10 МДУ уровень цинка в данной железе был в 2,7 раза выше, чем в контроле, и в 1,4 раза, чем при 5 МДУ. Однако в 3-й группе содержание элемента в печени было в 1,8 раза выше, чем в сердце. Особенно резкий скачок концентрации металла наблюдался в группе кур при 20 МДУ (в 28 раз). В 5-й группе (при 30 МДУ) содержание цинка в печени мало изменилось в сравнении с 4-й группой, однако абсолютное его значение было намного выше, чем в сердце. Индивидуальная изменчивость накопления этого элемента приблизительно такая же, как в ранее рассмотренных органах.

По накоплению цинка в почках куры контрольной группы имели абсолютно такие же показатели, как в печени. Во 2-й группе при 5 МДУ среднее содержание цинка в 1,4 раза было выше, чем в контроле. С ростом поступления в организм сульфата цинка также наблюдалось достоверное увеличение его уровня (10 МДУ). При 20 МДУ отмечался довольно значительный рост (в 2 раза) по сравнению с предыдущей группой. В 5-й группе (при 30 МДУ) также отмечено увеличение содержания элемента в почках в 1,3 раза в сравнении с 4-й и в 5,7 раза – с контрольной группой.

Индивидуальная изменчивость в контроле была на том же уровне, что и в ранее рассмотренных параметрах. В остальных группах фенотипическая изменчивость довольно значительна. Максимальным отношение крайних вариантов было в 4-й группе (1:5,2). В 5-й группе кур соотношение снизилось и составило 1:2,3. Это говорит о том, что индивидуальная реакция птиц на высокие дозы поступления цинка сгладилась.

Содержание цинка в селезенке в норме было на таком же уровне, как в почках, печени и сердце. В отличие от ранее рассмотренных органов поступление элемента в организм с питьевой водой в дозе 5 МДУ привело не к увеличению, а к уменьшению его содержания в органе. При 10 МДУ наблюдался практически двукратный рост показателя по отношению к предыдущему уровню. При 20 МДУ произошло незначительное в абсолютных значениях повышение содержания

металла в селезенке. При 30 МДУ отмечен рост в 2,1 раза в сравнении с 4-й группой и в 4,5 раза – в сравнении с контрольной.

По абсолютному содержанию цинка при максимальном поступлении его в организм селезенка, почки и сердце не различались.

Следует обратить внимание на довольно низкую изменчивость признака, которая была наименьшей в 3-й группе. При 20 МДУ вариация содержания цинка значительно увеличилась, а при 30 МДУ вновь несколько снизилась.

В норме у кур-несушек уровень цинка в легких ниже, чем в селезенке, почках, печени и сердце. Поступление повышенных доз цинка в организм привело к достоверному увеличению уровня элемента в легких кур 3, 4 и 5-й опытных групп. Особенно значительным оно было при 20 и 30 МДУ – в 4,4 и в 5,7 раза соответственно в сравнении с контролем. Кроме того, куры указанных групп по абсолютному значению показателя не различались.

Индивидуальная изменчивость в экспериментальных группах по уровню цинка в легких была выше, чем в селезенке. В норме небольшие индивидуальные различия в степени аккумуляции металла не превосходили двукратных величин. В то же время в 4-й группе при 20 МДУ эти различия достигали шестикратных величин.

Наиболее богаты цинком кости кур-несушек. Его содержание в контрольной группе в 2 раза и более было выше, чем во всех других органах и тканях. Поступление элемента в организм в количестве 5 МДУ привело не к увеличению, а к достоверному снижению уровня цинка в костях, как это наблюдалось в селезенке. При 10 МДУ содержание элемента возросло, однако не достигло показателя контрольной группы. При 20 МДУ отмечен рост в 1,5, а при 30 МДУ – в 3,6 раза. Фенотипическая изменчивость в 5-й группе была самой низкой, а в 4-й – самой высокой и значительно выше, чем в селезенке, легких и других органах. В общем по аккумуляции цинка в костях куры различались более заметно, чем по другим органам и тканям.

Содержание цинка в сыворотке крови в 3-й и 4-й группах снизилось, тогда как в других экспериментальных группах осталось на уровне контроля.

Через 30 дней эксперимента в 3, 4 и 5-й опытных группах наблюдался достоверный рост количества цинка в перо кур-несушек. Он составил 1,8; 2,1; 2,4 раза соответственно.

Содержание цинка в органах и тканях, мг/кг

Органы, ткани	Контроль	Превышение МДУ, раз			
		5	10	20	30
Мышцы	11,36 ± 0,49	13,85 ± 1,59	23,28 ± 4,25**	33,60 ± 5,80***	28,00 ± 3,66***
Сердце	16,80 ± 0,71	19,78 ± 2,60	26,70 ± 1,19***	92,20 ± 8,83***	93,40 ± 5,79***
Печень	17,90 ± 0,73	25,10 ± 1,71***	48,90 ± 6,50***	503,0 ± 48,4**	532,0 ± 83,7***
Почки	18,07 ± 0,58	26,10 ± 2,44**	37,30 ± 6,39**	79,20 ± 11,1***	103,7 ± 9,09***
Селезенка	18,63 ± 0,55	15,90 ± 0,97*	31,20 ± 0,59***	40,20 ± 4,48***	83,80 ± 4,79***
Легкие	14,03 ± 0,47	16,90 ± 1,79	25,70 ± 2,28***	104,0 ± 12,8***	110,6 ± 10,7***
Кости	43,23 ± 4,11	24,20 ± 1,85***	36,10 ± 3,35	65,60 ± 14,39	156,7 ± 8,53***
Перо	295,0 ± 21,9	364,0 ± 28,4	541,0 ± 67,9***	622,0 ± 54,8***	696,0 ± 70,1***
Сыворотка	4,31 ± 0,21	3,88 ± 0,17	3,32 ± 0,11	3,64 ± 0,25	4,78 ± 0,26

*P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001.

ВЫВОДЫ

1. Поступление различных доз цинка в организм кур-несушек привело к значительному его накоплению во всех органах.

2. Выявлена дифференциация органов и тканей по степени аккумуляции в них цинка. Наиболее богаты по количеству этого элемента кости. В меньшей степени цинк аккумулируется в мышцах, где его уровень был в 4 раза ниже, чем в костной ткани.

4. Цинк в значительных количествах способен аккумулироваться в печени, почках, сердце, селезенке, перо.

5. Наиболее высок уровень цинка в органах кур 5-й группы. Так, в костях он был выше контроля в 3,6, в почках – в 5,8 и в печени – в 30 раз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Битюцкий Н. П. Микроэлементы и растение: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1999. – 232 с.
2. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию: пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 232 с.
3. David D. S., Williams C. H. Heavy metal contents of soils and plants adjacent to the Hume Highway near Marulan, New South Wales // Austral J. Sxp. Agr. Anim. Husb. – 1975. – Vol. 15. – P. 414–418.
4. Minami K., Araki K. Distribution of trace element in arable soils affected by automobile exhausts // Science. – 1976. – N 5. – P. 1–5.
5. Соколов О. А., Черников В. А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Кн. 1: Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1999. – 164 с.
6. Микрякова Т. Ф. Распределение тяжелых металлов в высших водных растениях Угличского водохранилища // Экология. – 1994. – № 1. – С. 16–20.
7. Голенков А. А., Дрижд Н. Л., Малышев Н. Н. Загрязнение открытых водоемов и его влияние на заболеваемость населения // Гигиена и санитария. – 1997. – № 6. – С. 69–71.
8. Давыдова С. Л., Тагасов В. И. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века: учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2002. – 140 с.
9. Влияние экстрактов почв с различным содержанием тяжелых металлов на жизнеспособность изолированных клеток системы крови / А. Б. Чухловин, А. С. Ягунов, С. В. Токалов [и др.] // Санитария. – 1995. – № 6. – С. 11.
10. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
11. Влияние предприятий нефтехимической и нефтеперерабатывающей отрасли на санитарное состояние почвенного покрова / Р. А. Сулейманов, С. М. Сафонникова, М. Р. Якина [и др.] // Гигиена и санитария. – 1996. – № 3. – С. 12–15.

12. Лавриненко И. А., Лавриненко О. В. Аккумуляция растениями тяжелых металлов в условиях нефтезагрязнения // Сиб. экол. журн. – 1998. – № 3–4. – С. 299–309.
 13. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения городов химическими элементами / Б. А. Раевич, Ю. Е. Саэт, Р. С. Смирнова [и др.]. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 110 с.
 14. Изменение лейкоформулы при интоксикации тяжёлыми металлами в эксперименте / Е. С. Клепцына, В. Л. Петухов, И. А. Афонина [и др.] // Селекция, ветеринарная генетика и экология: материалы 1-й Междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения проф. О. А. Ивановой. – Новосибирск: НГАУ, 2001. – С. 84.
 15. Лебедева Н. В. Экотоксикология и биогеохимия географических популяций птиц. – М.: Наука, 1999. – 199 с.
 16. Дерябина Т. Г. Дикий кабан – биоиндикатор загрязнения мест его обитания тяжёлыми металлами // Экология. – 1996. – № 6. – С. 474–475.
 17. Хенниг А. Минеральные вещества, витамины, биостимуляторы в кормлении сельскохозяйственных животных / пер. с нем. Н. С. Гельман; под ред. А. Л. Падучевой, Ю. И. Раецкой. – М.: Колос, 1976. – 560 с.
 18. Клепцына Е. С., Афонина И. А. Накопление тяжёлых металлов в продуктах птицеводства // Материалы VII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск: ТГПУ, 2001. – С. 101–102.
 19. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов / Ф. Т. Бингам, М. Коста, Э. Эйхенбергер [и др.]; под ред. Х. Зигеля, А. Зигель. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
1. Bityutskiy N. P. *Mikroelementy i rastenie* [Trace minerals and plants]. Sankt-Peterburg: Izd-vo S. – Peterb. un-ta, 1999. 232 p.
 2. Fellenberg G. *Zagryaznenie prirodnoy sredy. Vvedenie v ekologicheskuyu khimiyu* [Contamination of the environment. Introduction to environmental chemistry]. Moscow: Mir, 1997. 232 p.
 3. David D. S., Williams C. H. Heavy metal contents of soils and plants adjacent to the Hume Highway near Marulan, New South Wales. *Austral J. Exp. Agr. Anim. Husb.*, Vol. 15 (1975): 414–418.
 4. Minami K., Araki K. Distribution of trace element in arable soils affected by automobile exhausts. *Science*, no. 5 (1976): 1–5.
 5. Sokolov O. A., Chernikov V. A. *Ekologicheskaya bezopasnost» i ustoychivoe razvitie. Kn. 1: Atlas raspredeleniya tyazhelykh metallov v ob'ektakh okruzhayushchey sredy* [Atlas of distribution of heavy metals in the environment]. Pushchino: ONTI PNTs RAN, 1999. 164 p.
 6. Mikryakova T. F. *Ekologiya*, no. 1 (1994): 16–20.
 7. Golenkov A. A., Drizhd N. L., Malyshev N. N. *Gigiena i sanitariya*, no. 6 (1997): 69–71.
 8. Davydova S. L., Tagasov V. I. *Tyazhelye metally kak supertoksikanty XXI veka* [Heavy metals like super-toxicants the XXI century]. Moscow: Izd-vo RUDN, 2002. 140 p.
 9. Chukhlov A. B., Yagunov A. S., Tokalov S. V. i dr. *Sanitariya*, no. 6 (1995): 11.
 10. Kabata-Pendias. A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Trace elements in soils and plants]. Moscow: Mir, 1989. 439 p.
 11. Suleymanov R. A., Safonnikova S. M., Yakina M. R. i dr. *Gigiena i sanitariya*, no. 3 (1996): 12–15.
 12. Lavrinenko I. A., Lavrinenko O. V. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, no. 3–4 (1998): 299–309.
 13. Raevich B. A., Saet Yu. E., Smirnova R. S. i dr. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoy otsenke zagryazneniya gorodov khimicheskimi elementami* [Guidelines for geochemical assessment of contamination by chemical elements towns]. Moscow: IMGRE, 1982. 110 p.
 14. Kleptsyna E. S., Petukhov V. L., Afonina I. A. i dr. *Selektsiya, veterinarnaya genetika i ekologiya* [Materials conference]. Novosibirsk: NGAU, 2001. pp. 84.
 15. Lebedeva N. V. *Ekotoksikologiya i biogeokhimiya geograficheskikh populyatsiy ptits* [Ecotoxicology and biogeochemistry geographical bird populations]. Moscow: Nauka, 1999. 199 p.
 16. Deryabina T. G. *Ekologiya*, no. 6 (1996): 474–475.
 17. Khennig A. *Mineral'nye veshchestva, vitaminy, biostimulyatory v kormlenii sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* [Minerals, vitamins, biostimulants in feeding farm animals]. Moscow: Kolos, 1976. 560 p.
 18. Kleptsyna E. S., Afonina I. A. *Nakoplenie tyazhelykh metallov v produktakh ptitsevodstva* [Materials conference]. Tomsk: TGPU, 2001. pp. 101–102.
 19. Bingam F. T., Kosta M., Eykhenberger E. i dr. *Nekotorye voprosy toksichnosti ionov metallov* [Some questions of toxicity of metal ions]. Moscow: Mir, 1993. 368 p.

ACCUMULATION OF ZINC IN THE ORGANS AND TISSUES OF LAYING HENS

Afonina I. A., Kleptsyna E. S.

Key words: heavy metals, zink, pollution, food chains, accumulation, hens

Abstract. Heavy metals get into the environment from different sources of pollution; they get into the plants, animals and human body by means of food chains. Zink is an active microelement that affects physiological processes of organism; but at the same time this element is included into 10 elements that are highly toxic and able to concentrate in the food chains and affect negatively human body. The research was carried out on the laying hens where the researchers arranged 5 groups of hens: 1 control group and 4 experimental groups. The hens from experimental groups received zink salt solution: 5 MRL – 2nd group, 10 MRL – 3^d group, 20 MRL – 4th group and 30 MRL – 5th group. Different doses of zink in the organism of laying hens resulted in its accumulation in all the organs. It was mostly accumulated in the liver, kidneys, heart, spleen, muscles and feathers. The researchers observed the highest concentration of zink in the laying hens of 5th group where animals were fed with 30 MRL of zink salt. Measurements of copper and zink concentrations were carried out by means the method of inverse coulometry after preparation of the probes by means of “wet” mineralization.