

# ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КОБАЛЬТА В РАСТЕНИЯХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ КАДМИЕМ

*З.Цецько, М.Вышковски, Э.Ролька*

Кафедра химии окружающей среды, Варминско-Мазурский университет  
в г.Ольштын (Польша), [zdzislaw.ciecko@uwm.edu.pl](mailto:zdzislaw.ciecko@uwm.edu.pl)

## Введение

Все химические элементы, появляющиеся в чрезмерном количестве, могут создавать стрессовые условия для живой природы, однако микроэлементы, такие как кадмий, свинец, хром, олово, никель и ртуть, являются особенно активными и вредными в связи с особой ролью, которую они выполняют в биохимических процессах и характерных интеракциях синергического или антагонистического типа [Kabata-Pendias, Pendias 1993]. Эти элементы могут находиться в воздухе в виде распыленного металла или окиси, в поверхностных и грунтовых водах в соединениях с гумусными веществами, а в почве и в отложениях в виде ионов [Wolak и др. 1995]. Накапливаясь в чрезмерном количестве в почве, растениях, водах и животных организмах, они представляют большую опасность для здоровья и жизни людей, а кроме того оказывают вредное влияние на растительный и животный мир [Nriagu 1980, Ottar и др. 1989]. Особенно опасен токсичный и мобильный кадмий, который сильно действует на свойства почвы и растущие на ней растения [Kabata-Pendias, Pendias 1999], оказывая непосредственное влияние или модифицируя поглощение макро- и микроэлементов [Ciecko и др. 2001, Gorlach и др. 1996].

В связи с этим были проведены опыты, целью которых было определить влияние загрязнения почвы кадмием на содержание кобальта в надземных частях и корнях овса, кукурузы, люпина желтого, редиса и фацелии. Влияние кадмия анализировали с добавлением в почву следующих нейтрализующих веществ: компоста, бурого угля, извести и бентонита.

## Материал и методы

В основу исследований легли вегетационные опыты в сосудах, проведенные в вегетационном павильоне Варминско-Мазурского университета в г.Ольштын (Польша) на кислой супесчаной почве. В опыте изучали влияние кадмия, вносимого в виде хлористого кадмия в количестве 10, 20, 30 и 40 мг Cd·кг<sup>-1</sup>, на содержание кобальта в овсе, кукурузе, люпине желтом, редисе и фацелии. Опыты проводили в четырех сериях (опыт с овсом – без добавок, с добавкой компоста, бурого угля и извести) или в пяти сериях (опыт с кукурузой, люпином желтым, редисом и фацелией – такие же добавки + бентонит). В опытах использовали полиэтиленовые сосуды, содержащие 9 или 10 кг почвы. Компост и бурый уголь вносили в почву в количестве 4%, бентонит – 2% по массе, а известь – в количестве, соответствующем полной гидролитической кислотности. Дополнительно все опытные растения удобряли неизменными дозами азота [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], фосфора [Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>+CaSO<sub>4</sub>] и калия (KCl), составлявшими: N – 100 (50 – в опыте с люпином желтым), P – 43,6, K – 96 мг·кг<sup>-1</sup> почвы. Характеристику почвы и химический состав компоста, бурого угля, бентонита и извести представили в ранее опубликованной работе [Ciecko и др. 2004]. Во время вегетации растений поддерживали постоянную влажность почвы на уровне 60% капиллярной влагоемкости. Уборку овса и редиса провели в фазе полной спелости, люпина желтого и фацелии – в фазе цветения, кукурузы – в фазе формирования початков.

При уборке взяли пробы надземных частей и корней растений, которые затем были измельчены, высушены и смолоты. В растительном материале определили содержание кобальта по методу атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с использованием спектрофотометра Unicam 939 Solar.

### Обсуждение результатов

Влияние загрязнения почвы кадмием на содержание кобальта в растениях было связано с его дозой, органом и видом растений, а также с видом вносимых в почву веществ (табл.1-5).

Содержание кобальта в овсе было связано с анализируемой частью растения и нейтрализующим веществом (табл.1). Наибольшее содержание кобальта отметили в корнях (1,26-1,96 мг Со·кг<sup>-1</sup> сухого в-ва), в соломе и зерне овса оно было ниже (соответственно 0,12-0,56 и 0,26-0,38 мг Со·кг<sup>-1</sup> сухого в-ва). В серии без нейтрализующих веществ содержание кобальта в соломе было выше, чем в зерне, тогда как в остальных сериях зерно содержало больше кобальта. По сравнению с серией без инактивирующих веществ, внесение в почву добавок, нейтрализующих кадмий, приводило к снижению содержания кобальта во всех органах овса. Загрязнение почвы кадмием различным образом влияло на содержание кобальта в овсе. В серии без добавок анализируемые органы овса в вариантах с загрязнением, как правило, содержали больше кобальта, чем в контрольном варианте. Зерно в серии с компостом при загрязнении почвы кадмием содержало меньше кобальта, чем в контрольном варианте. В свою очередь, в соломе и корнях в этих сериях концентрация кобальта была выше в вариантах с загрязнением. В серии с бурый углем только в корнях овса отметили меньшее содержание кобальта при загрязнении почвы.

Таблица 1

Содержание кобальта (Со) в зерне, соломе и корнях овса, в мг· кг<sup>-1</sup> сухого в-ва

Доза Cd в мг на 1 кг почвы	Серии опыта											
	без добавок			компост			бурый уголь			известь (СаО)		
	зерно	солома	корни	зерно	солома	корни	зерно	солома	корни	зерно	солома	корни
0	0,36	0,38	1,34	0,34	0,04	1,16	0,23	0,08	1,38	0,39	0,15	1,24
10	0,38	0,47	1,67	0,32	0,12	1,49	0,44	0,10	1,28	0,36	0,31	1,45
20	0,36	0,60	1,90	0,31	0,15	1,38	0,33	0,12	1,24	0,22	0,28	1,63
30	0,39	0,93	2,86	0,32	0,19	1,36	0,27	0,19	1,22	0,18	0,16	1,77
40	0,39	0,37	2,04	0,32	0,22	1,35	0,22	0,11	1,20	0,17	0,12	1,76
Среднее	0,38	0,56	1,96	0,32	0,14	1,35	0,30	0,12	1,26	0,26	0,20	1,57
г	0,730	0,300	0,722	-0,577	0,978	0,332	-0,332	0,567	-0,932	-0,946	-0,390	0,955

Содержание кобальта в люпине желтом также зависело от части растения (табл.2). Корни содержали больше этого элемента (от 1,93 до 2,57 мг Со·кг<sup>-1</sup> сухого в-ва), чем надземная масса (от 0,26 до 0,85 мг Со·кг<sup>-1</sup> сухого в-ва). Внесение в почву нейтрализующих веществ в опыте с люпином также снижало содержание кадмия в растениях. Исключением были корни в серии с бентонитом, где отметили самое высокое содержание кобальта среди всех вариантов опыта. Возрастающее загрязнение почвы кадмием способствовало повышению содержания кобальта в надземной массе и корнях люпина в серии без добавок и с добавлением компоста. Подобную зависимость отметили также в надземных частях в серии с бурый углем и известью. В свою очередь, в серии с бентонитом по мере увеличения загрязнения почвы кадмием наблюдалось снижение содержания кобальта в надземной массе люпина. В корнях в сериях с компостом, известью и бентонитом содержание кобальта в вариантах со слабым загрязнением было выше, чем в контрольном варианте. Однако, по мере увеличения загрязнения почвы кадмием содержание кобальта в корнях снижалось.

У кукурузы, так же, как у овса и люпина желтого, корни содержали значительно больше кобальта, чем надземная масса (табл.3). В зеленой массе кукурузы содержание кобальта составляло 0,21-0,35 мг Со·кг<sup>-1</sup> сухого в-ва, а в корнях – 1,29-1,52 мг Со·кг<sup>-1</sup> сухого в-ва. Добавки, инактивирующие кадмий, способствовали снижению содержания кобальта в обоих органах кукурузы. В сериях без добавок, с добавлением компоста и бурого угля в надземной массе под влиянием возрастающего загрязнения почвы кадмием наблюдалось повышение содержания кобальта. В сериях с добавлением извести и бентонита это повышение отмечалось только до дозы кадмия 20 мг· кг<sup>-1</sup> почвы, после чего содержания

кобальта в зеленой массе кукурузы снижалось. В корнях кукурузы отметили подобные зависимости, однако повышение содержания кобальта начиналось обычно со второго или третьего уровня загрязнения почвы кадмием, независимо от серии опыта.

Таблица 2

Содержание кобальта (Co) в надземной массе и корнях люпина, в мг·кг<sup>-1</sup> сухого в-ва

Доза Cd в мг на 1 кг почвы	Серии опыта									
	без добавок		компост		бурый уголь		известь (CaO)		бентонит	
	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни
0	0,44	2,01	0,17	1,83	0,20	2,01	0,20	1,86	0,35	2,60
10	0,46	2,61	0,21	2,02	0,23	2,07	0,21	2,19	0,26	2,68
20	0,65	н.а.	0,49	2,64	0,29	1,92	0,32	2,32	0,26	2,82
30	1,34	н.а.	0,54	2,03	0,32	1,84	0,35	2,09	0,23	2,41
40	1,34	н.а.	1,03	п.а.	0,35	1,81	0,48	2,03	0,20	2,36
Среднее	0,85	2,31	0,49	2,13	0,28	1,93	0,31	2,10	0,26	2,57
г	0,925	-	0,941	0,447	0,991	-0,904	0,964	0,220	-0,930	-0,623

н.а. – не анализировали в связи с недостаточным количеством растительного материала

Таблица 3

Содержание кобальта (Co) в надземной массе и корнях кукурузы, в мг·кг<sup>-1</sup> сухого в-ва

Доза Cd в мг на 1 кг почвы	Серии опыта									
	без добавок		компост		бурый уголь		известь (CaO)		бентонит	
	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни
0	0,26	1,32	0,11	0,83	0,16	1,21	0,23	1,29	0,27	1,41
10	0,31	1,54	0,16	1,33	0,17	1,35	0,35	1,47	0,41	1,56
20	0,36	1,56	0,24	1,34	0,19	1,62	0,36	1,49	0,44	1,95
30	0,39	1,57	0,27	1,57	0,25	1,52	0,21	1,51	0,23	1,54
40	0,44	1,59	0,34	1,37	0,26	1,24	0,11	1,14	0,10	1,08
Среднее	0,35	1,52	0,22	1,29	0,21	1,39	0,25	1,38	0,29	1,51
г	0,997	0,812	0,993	0,761	0,959	0,205	-0,575	-0,256	-0,593	-0,344

Редис был среди подопытных растений единственной культурой с подобным содержанием кобальта в корнях и надземной массе (табл.4). В среднем оно составляло 0,30-0,63 мг Co·кг<sup>-1</sup> сухого в-ва в зеленой массе и 0,31-0,79 мг Co·кг<sup>-1</sup> сухого в-ва в корнях. В этом опыте добавки, инактивирующие кадмий, также значительно снижали содержание кобальта в анализируемых частях редиса. Загрязнение почвы кадмием чаще всего приводило к повышению содержания кобальта в надземной массе, но лишь до дозы кадмия, составлявшей 20 мг·кг<sup>-1</sup>. При более высоком уровне загрязнения почвы отмечалось снижение концентрации кобальта в надземных частях редиса. Исключением была серия с бентонитом, в которой по мере увеличения загрязнения почвы наблюдалось снижение содержания кобальта. В корнях редиса в сериях без добавок и с добавлением компоста содержание кобальта повышалось по мере роста загрязнения почвы кадмием. В серии с известью это повышение наблюдалось только до второго уровня загрязнения почвы. В свою очередь, в сериях с бурым углем и бентонитом по мере роста загрязнения почвы кадмием содержание кобальта в корнях редиса снижалось.

У фацелии содержание кобальта в корнях было выше, чем в надземной массе (табл.5). В корнях оно составляло 1,29-1,52 мг, а в надземной массе – 0,21-0,73 мг Co·кг<sup>-1</sup> сухого в-ва. Так же, как и у остальных культур, добавки, применяемые для инактивации кадмия, как правило приводили к повышению содержания кобальта в обеих частях фацелии, причем в сериях с бурым углем (только в корнях), известью и бентонитом это повышение отмечалось до второго уровня загрязнения кадмием, тогда как более высокие его дозы приводили к снижению содержания кобальта.

Таблица 4

Содержание кобальта (Co) в надземной массе и корнях редиса, в мг· кг<sup>-1</sup> сухого в-ва

Доза Cd в мг на 1 кг почвы	Серии опыта									
	без добавок		компост		бурый уголь		известь (CaO)		бентонит	
	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни
0	0,66	0,73	0,46	0,23	0,38	0,46	0,19	0,45	0,44	0,40
10	0,59	0,84	0,46	0,29	0,39	0,33	0,25	0,46	0,39	0,34
20	н.а.	н.а.	0,48	0,38	0,42	0,30	0,47	0,52	0,35	0,31
30	н.а.	н.а.	0,33	0,54	0,15	0,24	0,43	0,38	0,34	0,29
40	н.а.	н.а.	0,21	0,54	0,14	0,21	0,24	0,30	0,26	0,27
Среднее	0,63	0,79	0,39	0,40	0,30	0,31	0,32	0,42	0,36	0,32
г	-	-	-0,858	0,970	-0,821	-0,959	0,354	-0,712	-0,974	-0,967

н.а. – не анализировали в связи с недостаточным количеством растительного материала

Таблица 5

Содержание кобальта (Co) в надземной массе и корнях фацели, в мг· кг<sup>-1</sup> сухого в-ва

Доза Cd в мг на 1 кг почвы	Серии опыта									
	без добавок		компост		бурый уголь		известь (CaO)		бентонит	
	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни	надзем. масса	корни
0	0,26	1,32	0,11	0,83	0,16	1,21	0,23	1,29	0,27	1,41
10	0,31	1,54	0,16	1,33	0,17	1,35	0,35	1,47	0,41	1,56
20	0,36	1,56	0,24	1,34	0,19	1,62	0,36	1,49	0,44	1,95
30	0,39	1,57	1,57	1,57	0,25	1,52	0,21	1,51	0,23	1,54
40	0,44	1,59	1,59	1,37	0,26	1,24	0,11	1,14	0,10	1,08
Среднее	0,35	1,52	0,73	1,29	0,21	1,39	0,25	1,38	0,29	1,51
г	0,997	0,812	0,893	0,761	0,959	0,205	-0,575	-0,256	-0,593	-0,344

### Выводы

1. Влияние загрязнения почвы кадмием на содержание кобальта в растениях зависело от их вида и органа, а также от вида нейтрализующих веществ. Корни растений содержали больше кобальта, чем их другие части.
2. Загрязнение почвы кадмием и инактивирующие добавки различным образом влияли на концентрацию кобальта в растительном материале. Низкие дозы кадмия, как правило, приводили к повышению содержания кобальта, а более высокие – к снижению.
3. Внесение в почву нейтрализующих веществ обычно приводило к снижению содержания кобальта в растениях, что часто усиливалось загрязнением почвы.

### Литература

- Ciećko Z., Kalembasa S., Wyszowski M., Rolka E. The effect of elevated cadmium content in soil on the uptake of nitrogen by plants // Plant, Soil Environ. - 2004 - Nr 50(7). - S. 283-294.
- Ciećko Z., Wyszowski M., Krajewski W., Zabielska J. Effect of organic matter and liming on the reduction of cadmium uptake from soil by triticale and spring oilseed rape // Sci. Total Environ. - 2001 - Nr 281(1-3). - S. 37-45.
- Gorlach E., Gambuś F., Jamrozy G., Tomek A. Zawartość kadmu w nerkach i wątrobie saren zależnie od miejsca ich bytowania i wieku // Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. - 1996 - Nr 434. S. 89-98.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN. Warszawa, 1999. - 398 s.
- Nriagu J. A silent epidemic of environmental metal poisoning? // Environ. Pollut. - 1980 - Nr 50. - S. 139-161.
- Ottar B., Lindeberg S.E., Voldner E., Lindgrist O., Mayer R., Semb A., Steinnes E., Watt J., Special topics concerning interactions of heavy metals with the environment. W: Control and Fate of Atmospheric Trace Metals, Kluwer Publ., Dordrecht. - 1989 - S. 365-372.
- Wolak W., Lebeda R., Hudicki Z. Metale ciężkie w środowisku i ich analiza. PIOŚ i WIOŚ w Chełmie, 1995 - S. 7-19.