

И.Н. Остапко, С.И. Гавохина, А.И. Сафонов

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПО БАРЬЕРНО-БЕЗБАРЬЕРНОМУ ТИПУ В *CIC HORIUM INTYBUS L.*

накопление, тяжелые металлы, фитосорбция, *Cichorium intybus L.*

Промышленность Артемовского и Краматорско-Константиновского узлов работает на электроэнергии Углегорской и Мироновской ГРЭС. Здесь функционируют крупнейшие предприятия по производству цинка, фосфатных удобрений, строительного гипса, проката из сплавов и металлов на основе меди, никеля, цинка, алюминия, кадмия [14], что приводит к загрязнению региона тяжелыми металлами и обуславливает создание зон экологического бедствия [6]. К особо токсичным ингредиентам относятся свинец, цинк, кадмий и молибден [4, 8, 16].

Основной химический состав определенных видов и частей растений является относительно стабильным в различных условиях их произрастания. Стабильность макроэлементного состава обусловлена наличием у них мощного, но еще малоизученного фактора — физиолого-биохимических барьеров против избыточных концентраций химических элементов в питательном субстрате. Для микроэлементов существование таких барьерных механизмов не представлялось столь очевидным, и они длительное время оставались неизученными [1, 3].

Система изучения особенностей барьерно-безбарьерного проникновения и накопления тяжелых металлов в растениях и механизмы распределения токсикантов в фитосорбционной колонке представлена в работе А.Л. Ковалевского [9].

Изучение закономерностей аккумуляции, миграции и детоксикации металлов для *Cichorium intybus L.* представляет практический интерес с точки зрения возможности использования его различных частей в лекарственных целях [15].

Целью данной работы является изучение особенностей накопления тяжелых металлов в *Cichorium intybus L.*, произрастающего на территории Артемовского и Константиновского районов Донецкой области.

Исследования проводили в барьерных системах “почва – корни” и “корни – надземная часть растения”. Сбор почвенных и растительных образцов осуществляли в период полного созревания плодов (конец августа 2000–2001 гг.). Модульные зоны (мониторинговые точки) были заложены в районах с высокой и средней концентрациями промышленных выбросов. В качестве контроля взята первая из перечисленных ниже зон: 1) ботанический памятник природы местного значения “Редкодубье”; 2) с. Новогригоровка (бытовой полигон); 3) Мироновское водохранилище; 4) подстанция Углегорской ГРЭС; 5) Артемовский завод “Дориндустрия”; 6) Константиновский механизированный стекольный завод; 7) Артемовский машиностроительный завод “Победа труда”; 8) центральный рудеральный комплекс, г. Артемовск; 9) Константиновский завод “Укрцинк”; 10) Артемовский завод по обработке цветных металлов.

Отбор и подготовку образцов почвы и растений проводили по общепринятым методикам [2, 11]. Содержание металлов (Pb, Zn, Cd и Mo) измеряли в корнях, надземной части растений и почве (глубина 5–15 см) рентгенофлуоресцентным методом на приборе “Спектроскан” [10]. В качестве стандарта был взят образец злаковой травосмеси [13]. Для каждого почвенного образца был определен показатель pH [2]. Статистическая обработка произведена с помощью прикладных программ на ПЭВМ, результаты достоверны при $P < 0,05$.

Таблица 1. Содержание металлов в почвах и *Cichorium intybus* L., произрастающего на территориях Артемовского и Краматорско-Константиновского промзлов, мг/кг сухой массы

Номер точки отбора почвенных образцов	Содержание металлов							
	Pb		Zn		Cd		Mo	
	M±m	CV, %	M±m	CV, %	M±m	CV, %	M±m	CV, %
Почва								
1	59,20±0,55	0,65	17,31±0,14	1,00	0,82±0,01	1,63	1,23±0,01	2,14
2	14,74±0,02	0,57	159,74±5,75	4,97	0,35±0,01	3,78	3,74±0,01	0,75
3	25,15±0,01	0,49	207,24±4,33	3,02	0,47±0,01	3,04	3,17±0,15	2,33
4	65,66±0,31	1,06	218,21±2,37	2,43	0,36±0,01	1,25	0,74±0,03	8,75
5	113,40±0,93	1,83	413,80±2,60	1,40	0,54±0,01	4,68	1,37±0,01	0,72
6	987,25±11,13	2,56	96,79±1,66	3,83	1,48±0,01	0,68	1,43±0,01	1,24
7	115,42±0,50	0,96	518,41±2,26	0,44	0,51±0,01	4,10	1,17±0,07	4,75
8	103,72±1,52	0,75	497,74±8,75	1,25	2,27±0,13	5,72	2,9±0,09	5,71
9	50,46±0,42	0,85	966,07±2,31	0,54	1,55±0,01	2,07	1,44±0,08	4,94
10	125,84±0,95	1,52	515,07±1,71	0,24	0,49±0,01	2,24	1,52±0,01	0,76
Корни								
1	14,80±0,32	4,88	18,80±0,16	3,15	0,61±0,01	5,71	0,82±0,01	2,23
2	6,28±0,01	2,74	87,62±1,71	2,77	0,18±0,01	1,24	0,35±0,01	1,24
3	12,97±0,01	0,02	111,72±0,14	0,23	0,29±0,01	3,72	0,47±0,01	4,75
4	16,72±0,39	5,23	97,21±2,37	9,25	0,19±0,01	3,70	0,36±0,01	0,31
5	39,72±0,69	2,74	151,03±4,74	3,20	0,41±0,01	0,95	0,54±0,01	3,03
6	286,93±4,71	1,26	97,75±0,91	1,91	1,17±0,01	1,29	1,48±0,01	1,94
7	40,22±0,74	3,28	202,70±6,62	4,20	0,41±0,01	2,77	0,51±0,01	3,03
8	37,01±0,01	0,06	102,72±4,79	5,27	1,88±0,02	7,24	2,27±0,13	7,92
9	18,03±0,09	1,28	302,04±10,32	7,70	1,23±0,01	1,22	1,55±0,01	4,95
10	41,72±0,17	7,16	329,96±5,14	1,78	0,37±0,01	3,32	0,49±0,01	3,29
Надземная масса								
1	1,29±0,01	2,74	19,08±0,27	0,01	0,31±0,01	3,74	1,11±0,01	0,01
2	0,87±0,01	0,01	97,94±1,47	3,74	0,09±0,01	0,01	3,43±0,01	5,27
3	1,11±0,01	2,03	135,95±0,20	0,53	0,14±0,01	0,02	2,72±0,02	6,68
4	1,57±0,01	6,53	117,12±0,75	0,01	0,10±0,01	0,02	0,52±0,01	0,97
5	3,74±0,01	6,11	176,22±1,71	1,41	0,19±0,01	4,43	0,92±0,01	5,88
6	27,75±0,04	8,77	102,92±2,97	0,47	0,59±0,01	4,84	1,32±0,01	4,28
7	4,00±0,01	7,30	245,07±1,17	2,07	0,19±0,01	0,03	0,97±0,01	0,01
8	3,91±0,01	2,32	104,35±1,67	2,72	1,00±0,01	7,25	2,51±0,02	3,75
9	1,63±0,01	0,04	407,04±1,92	5,23	0,32±0,01	1,19	1,27±0,01	0,01
10	3,92±0,02	0,75	397,55±2,03	3,78	0,14±0,01	3,64	1,43±0,01	1,79

Примечание: M±m — среднее арифметическое значение ± погрешность, CV — коэффициент вариации признака.

В результате исследований (табл. 1) максимальные концентрации Pb обнаружены в почвах на территориях Константиновского механизированного стекольного завода (987,25), Артемовского завода по обработке цветных металлов (125,84), Артемовского машиностроительного завода (115,42), Артемовского завода “Дориндустрия” (113,40) и центрального рудерального комплекса г.Артемовска (103,72) при предельно допустимых концентрациях (ПДК) 100-300 мг/кг [8, 12, 16]; Zn – Константиновского завода “Укрцинк” (966,07), Артемовского машиностроительного завода “Победа труда” (518,41) и Артемовского завода по обработке цветных металлов (515,07) при ПДК=300 мг/кг; Cd – центрального городского рудерального комплекса г.Артемовска (2,27) и Константиновского завода “Укрцинк” (1,55) при ПДК=3–5 мг/кг; Mo – с.Новогригоровка (3,74), Мироновского водохранилища (3,17) и центрального рудерального комплекса г. Артемовска (2,91) при ПДК=3 мг/кг.

Выявленные зоны особого загрязнения указывают в первую очередь на антропогенный характер образования локальных полей с концентрацией загрязнителей (свинец, кадмий, цинк) выше фоновое уровня.

Таблица 2. Коэффициенты распределения металлов в фитосорбционной колонке *Cichorium intybus* L.

Номер точки отбора растительных образцов, барьерная система*	Pb	Zn	Cd	Mo
1, а	0,25	1,08	0,74	0,95
б	0,09	1,05	0,51	0,95
2, а	0,43	0,55	0,51	0,94
б	0,14	1,11	0,50	0,98
3, а	0,52	0,54	0,62	0,95
б	0,09	1,21	0,48	0,90
4, а	0,25	0,44	0,53	0,80
б	0,09	1,21	0,52	0,88
5, а	0,35	0,37	0,76	0,90
б	0,09	1,17	0,46	0,75
6, а	0,29	1,01	0,79	0,99
б	0,10	1,08	0,50	0,93
7, а	0,35	0,39	0,80	0,85
б	0,10	1,21	0,46	0,97
8, а	0,36	0,20	0,83	0,93
б	0,11	1,02	0,53	0,93
9, а	0,36	0,31	0,79	0,92
б	0,09	1,34	0,26	0,96
10, а	0,33	0,63	0,76	0,95
б	0,09	1,21	0,38	0,99

*Примечание: а – система “почва – корни”, б – система “корни – надземная часть растения”

Относительное содержание химического элемента в растении при барьерно-безбарьерном аспекте изучения можно характеризовать коэффициентом распределения (табл. 2) — отношением абсолютного содержания химического элемента в тканях растения к его содержанию в почве или нижних частях фитосорбционной колонки [5].

При изучении специфики проникновения свинца в системе “почва – корни – надземная часть растения” были выявлены следующие закономерности: общий коэффициент распределения в первом барьере варьирует от 0,25 до 0,52; при переходе из корневой системы в надземную часть растения содержание свинца на порядок уменьшается (коэффициент распределения изменяется от 0,09 до 0,14), что свидетельствует о наличии механизма детоксикации в *C.intybus*.

Для цинка прослежена закономерность снижения концентрации в системе “почва – корни” при высоких (более 100 мг/кг) концентрациях в почве, но в зонах №№ 1, 6 коэффициент распределения превышает 1 (во всех системах колонки фитосорбции), поскольку в фоновых количествах цинк не выступает как загрязнитель, а используется растением как питательный элемент. В надземной массе содержание цинка возрастает, по сравнению с концентрацией такого в корневой системе.

Кадмий относится к элементам, для которых физиолого-биохимические барьеры выражены слабо [7], но изученная специфика его распределения в частях *C. intybus* характеризуется многоступенчатой фитосорбцией. Концентрация металла, хотя и не варьирует в широких пределах, значительно уменьшается в изучаемой системе накопления, что подчеркивает видоспецифичность реакции растения на металл-загрязнитель, биологическая роль которого до сих пор не определена [8].

Дополнительное изучение взаимодействия в паре катионов кадмий-цинк показало торможение типичных процессов накопления цинка в растениях при повышенных уровнях загрязнения кадмием относительно фона в зонах №№ 1, 6, 8, 9. Коэффициент корреляции между увеличивающимися концентрациями кадмия и уменьшающимся содержанием цинка варьировал в пределах от 0,92 до 0,98. Прослеживается тенденция замещения цинка более реакционно способным кадмием при увеличении кислотности почв (рН) от 8,4 до 7,2, что свидетельствует об антагонистических взаимодействиях этих металлов.

Коэффициенты распределения для молибдена в первой ступени системы барьеров “почва-корни” варьируют в пределах 0,80–0,99, во второй — “корни-надземная часть растения” — 0,75–0,99, что указывает на стабильность содержания металла в фитосорбционной колонке *C. intybus* и принадлежности его к безбарьерной и количественно информативной группе растений, поскольку концентрации металла в почве и разных его частях в данном диапазоне варьирования практически равны.

Данные эксперимента косвенно свидетельствуют о том, что дифференциация различных частей растения по типам накопления химических элементов происходит не только по органам, тканям, но и внутриклеточно. Изучение на более низких уровнях организации (субклеточном, биомолекулярном) приближает исследование к получению весьма ценной информации о физиолого-биохимических механизмах барьеров в растениях, позволяет выявить возможность регуляции металлдетоксикации. По барьерному механизму в *C. intybus* накапливаются свинец и кадмий, что дает возможность проводить сбор лекарственного сырья надземной части растений в зонах среднего загрязнения этими металлами, а корневой системы — исключительно на чистых (фоновых) территориях. Отмечена слабая фитотоксичность цинка для *C. intybus*, так как выявлены отрицательные антиконцентрационные барьеры в диапазоне изучаемых почвонакопительных систем.

Таким образом, изучение накопления ряда тяжелых металлов (Pb, Zn, Cd, Mo) в надземной и подземной частях *C. intybus* позволило выявить адсорбционные процессы, регулирующие, по-видимому, на уровне клеточных мембран ризодермальных составляющих, а также процессы очистки физиологически активных гистоструктур от избытка металлов-загрязнителей при переходе в системе “корни-надземная часть растения”.

1. Альберт А.А. Избирательная токсичность. Физико-химические основы терапии: В 2-х т. – М.: Медицина, 1989. – Т. 2. – 432 с.
2. Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1970. – 487 с.
3. Биотрансформация ксенобиотиков в растениях. – Тбилиси: Мецниреба, 1988. – 288 с.
4. Буркин И.А. Физиологическая роль и сельскохозяйственное значение молибдена. – М.: Наука, 1968. – 293 с.
5. Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве: Руководство. – М.: Медицина, 1986. – 320 с.
6. Дудик А.М. Временные методические рекомендации по геолого-экологическим работам в пределах горнопромышленных районов Украины. – Донецк: Б. и., 1992. – 105 с.
7. Егоров Ю.А., Кириллов В.Ф. Экологическая значимость и гигиеническая регламентация свинца и кадмия в различных средах // Медицина труда и промышленная экология. – 1996. – № 10. – С. 18–25.
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
9. Ковалевский А.Л. Биогеохимия растений. – Новосибирск: Наука, 1991. – 294 с.
10. Методические указания по проведению энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа растительных материалов / Под ред. Ю. Логинова. – М.: Колос, 1983. – 47 с.
11. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
12. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах // Токсикологический вестник. – 1995. – № 2. – С.37.
13. Свидетельство на государственный стандартный образец состава злаковой травосмеси СБМТ-02 № 3170-85. – Новосибирск: Б.и., 1986. – 36 с.
14. Тарасенко Н.Г. Экономические районы Украины. – Донецк: Академия, 1997. – 56 с.
15. Универсальная энциклопедия лекарственных растений / Сост. И.Путырский, В.Прохоров. – Минск: Книжный Дом; М.: Махаон, 2000. – 656 с.
16. Цинк и кадмий в окружающей среде / В.А.Алексеев, Л.В.Алещукин, Л.Е.Безпалько и др. – М.: Наука, 1992. – 200 с.

ДБС НАН Украины

Получено: 7.11.2001

УДК 628.5:632.15+58.04:581.19: 549.25/28:631.81

Накопление тяжелых металлов по барьерно-безбарьерному типу в *Cichorium intybus* L. / Остапко И.Н., Гавохина С.И., Сафонов А.И. // Промышленная ботаника. – 2002. – Вып. 2. – С. 44–48.

Изучены особенности накопления Pb, Zn, Cd и Mo в системе “почва – корневая система – надземная вегетирующая часть” *Cichorium intybus* L. на территориях Артемовского и Константиновского районов Донецкой области. Определены барьерно-безбарьерные механизмы фитосорбции тяжелых металлов.

Табл. 2. Библиогр.: 16.

UDC 628.5:632.15+58.04:581.19: 549.25/28:631.81

Accumulation of heavy metals after barrier/barrier-free type in *Cichorium intybus* L. / Ostapko I.N., Gavochina S.I., Safonov A.I. // Industrial botany. – 2002. – V. 2. – P. 44–48.

Peculiarities of Pb, Zn, Cd and Mo accumulation within the ‘soil – rootage - aboveground vegetative part’ system of *Cichorium intybus* L. have been studied on the plots in Artemovsky and Konstantinovsky districts of Donetsk region. Barrier and barrier-free mechanisms of heavy metals phytosorption have been revealed.

Tabl. 2. Bibliogr.: 16.