

СПОСОБНОСТЬ К ФИТОЭКСТРАКЦИИ ЦИНКА ГОРЧИЦЕЙ САРЕПТСКОЙ BRASSICA JUNCEA (L.) ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЧЕРНОЗЕМНОЙ И СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

© 2013 Е. П. Проценко¹, Н. П. Неведров²

¹докт. сельскохозяйственных наук,
профессор каф. общей биологии и экологии
e-mail: kaf-ecolbiol@yandex.ru

²аспирант каф. общей биологии и экологии
e-mail: 9202635354@mail.ru

Курский государственный университет

Представлены данные по аккумуляции цинка биомассой горчицы сарептской, при выращивании ее в серой лесной и черноземной почве Курской области, отмечена высокая фитоэкстракционная способность горчицы сарептской в серой лесной почве, которая зависела от содержания валовой и подвижной форм цинка.

Ключевые слова: цинк, горчица сарептская, почва, гипераккумулятор, чернозем типичный, серая лесная почва.

В последние десятилетия в связи с быстрым развитием промышленности во всем мире усиливается загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами в масштабах, которые не свойственны природе. В связи с возрастанием их содержания в окружающей среде, в частности в почве, загрязнение почв становится серьезной экологической проблемой современности [Башкин, Касимов 2004; Добровольский 1987, 1992].

В настоящее время наиболее рациональным решением этой проблемы является фиторемедиация – очистка почвы от тяжелых металлов при помощи специально подобранных растений. По сравнению с существующими химическими и физическими методами мелиорации почвы, очистка при помощи растений экономичнее и наносит меньший ущерб окружающей среде [Прасад 2003]. Предпринимаются серьезные попытки создания устойчивых к избытку тяжелых металлов растений с использованием биотехнологических подходов, включая генную инженерию, а также клонирование и селекцию металло-устойчивых генотипов [Chaney 1983].

Для очистки территории от тяжелых металлов (ТМ) перспективны растения, устойчивые к ТМ, хорошо их накапливающие в побегах, и обладающие высокой продуктивностью, чтобы обеспечить интенсивный вынос металлов из почвы со скошенной массой [Прасад 2003].

Термин «гипераккумулятор» был предложен Чейни [Chaney 1997]. Гипераккумуляторами предложено называть растения, накапливающие выше 1000 мг/кг абс сух массы Pb, 10 000 – Zn; 100 – Cd [Титов и др. 2007]. Растения, в тканях которых содержание ТМ достаточно высокое, однако не достигает установленной границы, называют умеренными аккумуляторами [Там же].

Большинство металлофитов по концентрациям, которые они способны перенести, по минимальным концентрациям, оказывающим на них действие, а также по накоплению ТМ сильно различаются.

Тем не менее некоторые металлофиты способны накапливать в своих надземных органах ТМ в концентрациях, намного превосходящих токсичные и существенно

превосходящих концентрации у обычных растений, выращенных на загрязненной почве [Baker и др. 1994]. Растения-гипераккумуляторы обычно имеют отношение концентрации металлов в стеблях к концентрации в корнях больше единицы, в то время как не являющиеся гипераккумуляторами растения имеют более высокие концентрации металлов в корнях, чем в стеблях [Титов и др. 2007]. Однако на основе генетических исследований доказано, что аккумуляция и устойчивость являются независимыми характеристиками растений [Там же].

Несомненно, что в технологическом отношении исключительно важный орган растений – корни. Они выделяют экссудаты и впитывают в себя вместе с органикой почвы токсичные соединения, благодаря ферментам экссудатов (в ризосфере) и внутриклеточным ферментам корневой системы в них осуществляются первые этапы трансформации токсичных соединений почвы и воды [Квеситадзе и др. 2005].

В работе изучалась способность горчицы сарептской накапливать цинк в побегах и корнях на черноземе типичном и в серой лесной почве Курской области.

В ходе эксперимента было взято растение горчица сарептская *Brassica juncea* (L.), являющееся гипераккумулятором ТМ, и два типа почв Курской области: чернозем типичный (косимый участок Стрелецкой степи Центрально-Черноземного заповедника им. проф. В.В. Алехина) и серая лесная почва (агробиостанция КГУ). Почва отбиралась с глубины 5–20 см (верхний горизонт). В 10 контейнеров было помещено по 1 килограмму почвы. Затем в емкости с почвой внесли возрастающие концентрации сернокислого цинка в дозах, соответствующих 1, 2, 10 и 50 ПДК. Также были взяты контрольные образцы почв. Опыт проводился в четырехкратной повторности. Валовое содержание цинка в серой лесной почве в среднем составило 13 мг/кг, а в черноземной – 30 мг/кг, при ПДК 100 мг/кг почвы.

Семена горчицы сарептской высаживались в контейнеры с почвой и затем выращивались на протяжении трех недель при естественном освещении и искусственном поливе, влажность субстрата составляла около 25 %.

Во всех вариантах опыта отмечалась всхожесть горчицы порядка 90%. Исключением был вариант с дозой 50 ПДК, где всходов вообще не наблюдалось. Вероятно данная концентрация тяжелого металла – мощный угнетающий фактор для проростков горчицы сарептской.

По истечении трех недель все растения были извлечены из почвы, корни отмыты от почвенных частиц и высушены до абсолютно сухой массы.

Измерение массовых концентраций цинка в образцах проводилось методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе ТА4. Пробоподготовка и анализ проб выполнены в соответствии с методикой МУ 31-04/04 [Методика выполнения измерений... 2004].

Таблица 1
Содержание цинка в корнях и побегах горчицы сарептской

Содержание цинка в почве, в ПДК	Содержание цинка в корнях горчицы на серой лесной почве (мг/кг)	Содержание цинка в побегах горчицы на серой лесной почве (мг/кг)	Содержание цинка в корнях горчицы на черноземе типичном (мг/кг)	Содержание цинка в побегах горчицы на черноземе типичном (мг/кг)
Контроль (фон)	31	71	15	3,5
1 ПДК	231	115	20	53,5
2 ПДК	393	174	23	7,5
10 ПДК	1876	1741	460	439

Данные по содержанию цинка в корнях и побегах горчицы сарептской, представленные в таблице 1, свидетельствуют о том, что в серой лесной почве горчица сарептская ведет себя как гипераккумулятор цинка. Корни горчицы сарептской, выращенные на серой лесной почве, накопили приблизительно в 2 раза больше цинка, чем содержалось в загрязненном образце почвы (1, 2 и 10 ПДК), на контроле также отмечалось биологическое накопление цинка, близкое к двукратной величине. В свою очередь, побеги горчицы сарептской в различных по степени загрязнения образцах почвы ведут себя неодинаково. В образцах с концентрацией в 1 ПДК и 2 ПДК выступают как индикаторы – накапливая цинк в количестве, примерно равном количеству в почве. В образце 10 ПДК и контроле – как гипераккумуляторы, накапливая в два и в шесть раз больше цинка на единицу сухой массы.

В черноземе типичном особенности аккумуляции цинка горчицей сарептской отличаются от таковых в серой лесной почве, вероятно, это вызвано свойствами данного типа почвы. При относительно малых дозах загрязнения почвы цинком (1–2 ПДК) и на контроле растения накопили небольшое количество тяжелого металла, максимальное содержание составило 53,5 мг/кг сухой массы. Исключением является образец чернозема типичного с дозой загрязнения 10 ПДК в этом варианте накопление цинка в корнях и побегах достигает 460 мг/кг.

Сравнительный анализ отношения накопления цинка в корнях горчицы сарептской к накоплению его в побегах показал, что корневая система аккумулирует большую часть массы тяжелых металлов, по сравнению с её побегами. Данное явление отмечено практически во всех пробах, за исключением контрольного образца на серой лесной почве и образца 1 ПДК на черноземе типичном.

Надо отметить, что аккумулирующая способность горчицы сарептской выше в серой лесной почве, что, видимо, связано с более высоким содержанием водорастворимой и подвижной форм цинка по сравнению с черноземом.

Таблица 2

Содержание подвижной и водорастворимой формы цинка в серой лесной почве и черноземе типичном

Тип почвы	Степень загрязнения почвы	Содержание водорастворимой формы в мг/кг	Содержание подвижной формы в (ААБ) мг/кг
Чернозем типичный	Контроль	следы	0,21
Чернозем типичный	1 ПДК	следы	12
Чернозем типичный	2 ПДК	0,15	20
Чернозем типичный	10 ПДК	1,8	93
Серая лесная	Контроль	следы	0,85
Серая лесная	1 ПДК	0,29	13
Серая лесная	2 ПДК	1	25
Серая лесная	10 ПДК	3,1	152

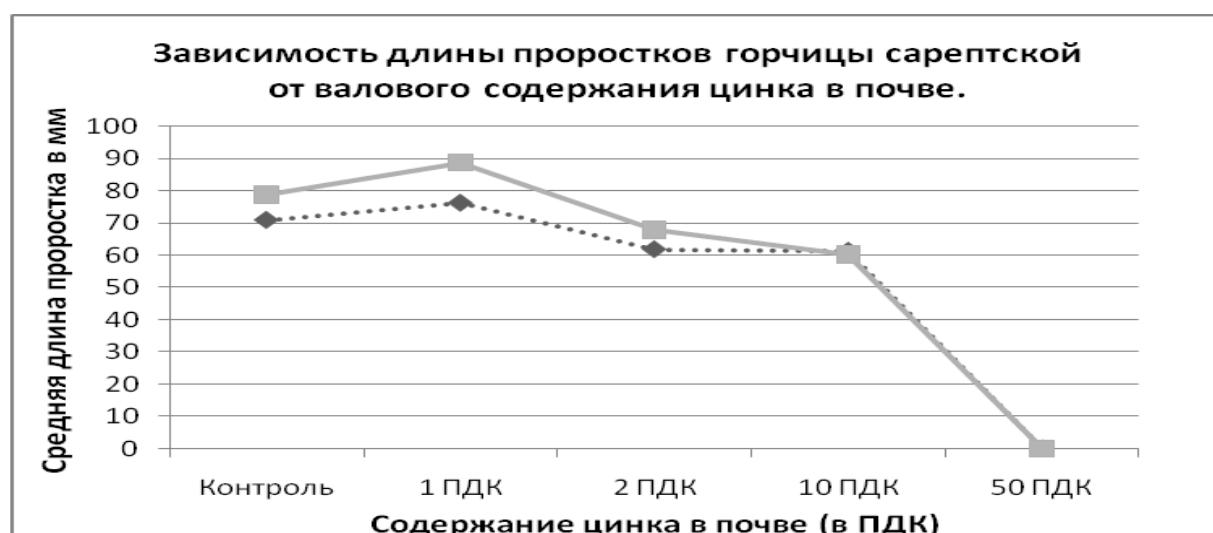
Статистическая обработка полученных данных показала, что содержание цинка в корнях и побегах горчицы сарептской тесно коррелирует с долей водорастворимой и подвижной форм металла в почве, что следует из данных, представленных в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициенты парной корреляции содержания различных форм цинка в почве и содержания цинка в корнях и побегах горчицы сарептской

	Содержание цинка в корнях горчицы сарептской	Содержание цинка в побегах горчицы сарептской	Содержание водорастворимой формы цинка в почве	Содержание подвижной формы цинка в почве	Валовое содержание цинка в почве
Содержание цинка в корнях горчицы сарептской	–	0,991	0,941	0,913	0,775
Содержание цинка в побегах горчицы сарептской	0,991	–	0,929	0,925	0,793
Содержание водорастворимой формы цинка в почве	0,941	0,929	–	0,973	0,919
Содержание подвижной формы цинка в почве	0,913	0,925	0,973	–	0,963
Валовое содержание цинка в почве	0,775	0,793	0,919	0,963	–

Сразу после извлечения проростков из почвы были сделаны промеры длины проростков и определена средняя величина их длины для каждого образца. Данные отражены на рисунке.



Сплошная линия – серая лесная почва, прерывистая линия – чернозем типичный

Из рисунка видно, что у проростков горчицы сарептской, выращиваемой на образцах почвы с дозой загрязнения цинком в 10 ПДК, наблюдается задержка роста, что, по всей вероятности, происходит из-за усиленного, по сравнению с другими вариантами эксперимента, транспорта цинка из корней растений в их побеги (табл. 1),

поскольку содержание в корнях и побегах становится одинаково высоким и достигает соответственно 1876–1741 мг/кг для серой лесной почвы и 460–439 мг/кг для чернозема.

Выводы

1. Установлено, что горчица сарептская, выращенная на серой лесной почве, загрязненной цинком (от 1 до 10 ПДК), содержит в сухой надземной биомассе до 1741 мг/кг.
2. При выращивании горчицы сарептской на черноземе типичном фитоэкстракционная способность данного растения проявляется только при высоких уровнях загрязнения (10 ПДК), содержание цинка при этом составляет 439 мг/кг сухой массы растения.

Библиографический список

- Башкин В.Н., Касимов Н.С.* Биогеохимия М.: Научный мир, 2004. 648 с.
- Добровольский В.В.* Глобальная биохимия свинца // Свинец в окружающей среде. М.: Наука, 1987. С. 7–19.
- Добровольский В.В.* Основные черты геохимии цинка и кадмия // Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. С. 7–18.
- Квеситадзе Г.И., Хатисаишвили Г.А., Садуншвили Т.А., Евстигнеева З.Г.* Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях; Ин-т биохимии им. А.Н. Баха. М.: Наука, 2005. 199 с.
- Методика выполнения измерений* массовых концентраций цинка, кадмия, свинца, и меди методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. Томск.: изд-во ТПУ, 2004. 23 с.
- Прасад М.Н.* Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами // Физиология растений. 2003. Т. 50, № 5. С. 768–780.
- Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф.* Устойчивость растений к тяжелым металлам / отв. ред. Н.Н. Немова; Институт биологии КарНЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.
- Baker A.J.M., Reeves R.D., Hajar A.S.H.* Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. and C. Presl (Brassicaceae) // New Phytol. 1994. V. 127. P. 61–68.
- Chaney R.L.* Plant uptake of inorganic waste constituents // Land treatment of hazardous wastes. Park Ridge, USA, New York: Noyes Data Corp., 1983. P. 50–76.
- Chaney R.L., Malik M., Li Y.M., Brown S.L., Brewer E.P., Angle J.S., Baker A.J.M.* Phytoremediation of soil metals // Curr. Opin. Biotechnol. 1997. V. 8. № 3. P. 279–284.