

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОРОВ ФИТОЭКСТРАКЦИИ НА ПОВЫШЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ И ВЫНОСА СВИНЦА КУЛЬТУРОЙ *BRASSICA NAPUS L.*

М.Т. Койгельдинова, М.С. Панин

Семипалатинский государственный педагогический институт

Введение

Безусловно, одна из перспективных технологий очистки почв является технология фитоэкстракции. Фитоэкстракция – использование растений для удаления, преобразования и стабилизации загрязняющих веществ, локализованных в воде, отложениях или почвах

Для усиления извлечения тяжелых металлов (ТМ) из загрязненных почв растениями применяют так называемые эффекторы фитоэкстракции. Одними из таких эффективных индукторов фитоэкстракции являются органические кислоты и их соли, так называемые хелатообразующие агенты, действующие как транспортные средства для металлов, снижая их токсичность и облегчая поглощение растениями [1].

Цель исследования провести сравнительное изучение влияния лимонной, щавелевой кислот и Na-ЭДТА на повышение накопления и выноса свинца растениями *B. napus L.* в условиях модельного загрязнения темно-каштановой почвы.

Объекты и методы исследования

Для опытов были отобраны образцы нормальной среднесуглинистой темно-каштановой почвы пахотного горизонта Семипалатинского Прииртышья Республики Казахстан. Определялись следующие физико-химические показатели данной почвы: содержание гумуса по методу Тюрина со спектрофотометрическим окончанием, рН водной суспензии – потенциометрически, содержание обменных оснований, гранулометрический состав почвы по Качинскому [2], а также оценена буферная устойчивость почвы к загрязнению ТМ по Ильину [3].

Почву предварительно просеивали через сито, с диаметром отверстий 3 мм, тщательно перемешивали и загружали по 1 кг в пластмассовые сосуды. Для моделирования свинцового загрязнения почвы нитрат свинца вносили в почву в дозах 1 ПДК (32 мг/кг) и 3 ПДК (96 мг/кг) [4] на 1 кг воздушно-сухой почвы. Выравнивание фоновым удобрением по азоту не проводилось. Затем почву компостировали в течение 7 дней при комнатной температуре в условиях

полной полевой влагемкости. Постановка вегетационных опытов проведена по методике Журбицкого [5]. Сбор растений производился через 4 недели. За 7 суток до уборки урожая в почву вносили водные растворы лимонной, щавелевой кислот и Na-ЭДГА в дозах 1, 2, 5, 10 ммоль/кг. Содержание Pb в почвенных и растительных образцах определяли химическим методом по методике Ринькиса с фотоколориметрическим окончанием [6]. Эксперимент осуществлялся в трехкратной повторности. Для характеристики распределения элемента между живым веществом и абиотической средой рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП):

$$\text{КБП} = C_p / C_v,$$

где C_p – содержание элемента в золе растений, C_v – валовое содержание элемента в почве

Результаты и их обсуждение

По агрохимическим показателям нормальная среднесуглинистая темно-каштановая почва является нейтральной (рН=7,11), содержание гумуса – 2,57%, физическая глина составляет 15,69%, илистая фракция – 10,2%, ЕКО – 9,63 мг-экв/100г. Степень буферности почвы к загрязнению ТМ по указанным физико-химическим показателям является средней.

Общее содержание Pb в исходной почве составило 22 мг/кг. Это в 2,2 раза больше кларка элемента в почве (10 мг/кг), в 1,4 раза больше кларка в литосфере (16 мг/кг), в 1,5 раза меньше ПДК (32 мг/кг).

С увеличением уровня загрязнения общее содержание свинца возрастало относительно исходной почвы, при свинцовом загрязнении почвы в 2 и 5 раз (таб. 1).

В незагрязненной почве свинец довольно прочно закреплен почвенными компонентами, только 3,02 % элемента от общего количества находится в обменной форме. Относительное содержание элемента в вариантах с разделным внесением свинца в почву увеличивалась от $Pb_{\text{вод}}$ к $Pb_{\text{кисл}}$: минимальный уровень загрязнения (1 ПДК) – от 0,06 до 19,1 %, средний (3 ПДК) – от 0,03 % до 28,0 %,

Таблица 1
Содержание форм соединений Pb в темно-каштановой почве, мг/кг

Вариант	Формы соединений			Валовое содержание
	1	2	3	
Фон	0,03 ± 0,002	0,66 ± 0,03	1,20 ± 0,05	22,0 ± 1,32
Моноэлементное загрязнение				
Pb 1 ПДК	0,03 ± 0,002	0,73 ± 0,03	10,0 ± 0,51	52,4 ± 3,66
Pb 3 ПДК	0,04 ± 0,003	2,12 ± 0,07	32,9 ± 2,01	117,5 ± 6,70

Примечание. 1 – водорастворимая форма (H_2O), 2 – обменная форма (CH_3COONH_4 рН 4,8), 3 – кислоторастворимая форма (1 н. раствор HCl).

* Среднее значение стандартное отклонение

Изменение содержания форм соединений свинца при свинцовом загрязнении темно-каштановой почвы происходило следующим образом: свинец довольно хорошо закреплялся почвой и лишь малая часть этого поллютанта, была, представлена водорастворимыми формами.

Полученные данные свидетельствуют, что для данного элемента характерна более низкая подвижность в почве и накопление в формах недоступных для поглощения растениями.

Согласно многочисленным литературным источникам [7, 8] известно, что в условиях избыточного содержания свинца в почве данный металл по своей природе может в значительной степени поглощаться корнями, но лишь незначительная его часть способна к транслокации в побеги. В связи с этим возможность усиления поглощения металлов, особенно в пожинаемой биомассе, в результате воздействия хелатообразующих соединений особенно актуально для свинца.

Обнаружено, что в условиях свинцового загрязнения почвы в дозе 32 мг/кг наиболее эффективным среди рассматриваемых эффекторов фитоэкстракции является Na-ЭДГА (рис.1). Так в результате, внесения Na-ЭДГА в дозе от 1 до 10 ммоль/кг концентрация Pb в побегах *V. parus L.* находилась в интервале от 14,1- 105 мг/кг. При этом достоверно значимое превышение относительно варианта без внесения агента (6,4 мг/кг) составило в 2,2 - 16 раз.

В случае воздействия лимонной кислоты (ЛК) в аналогичных условиях было установлено в среднем в 1,6 раза достоверное увеличение содержания Pb в побегах в дозах 5 и 10 ммоль/кг, что составило 9,8 мг/кг и 10,6 мг/кг соответственно. Аналогичные дозировки щавелевой кислоты (ЩК) в условиях свинцового загрязнения почвы в дозе 32 мг/кг обусловили большой поток Pb в побеги. Так, эффект поглощения Pb надземной массой *V. parus L.* возрастал в среднем в 3,5 раза по сравнению с вариантом без внесения агента, что составило 18,9 мг/кг и 25,3 мг/кг соответственно. Общей тенденцией в поглощении Pb побегами как для ЛК и ЩК было сравнительно незначительное стимулирование накопления в дозе 1 и 2 ммоль./кг.

Аналогичный эффект максимального усиления аккумуляции Pb в побегах *V. parus L.* при действии Na-ЭДГА установлен в условиях повышения свинцовой нагрузки на почву до 96 мг/кг. Внесение Na-ЭДГА в дозах от 1 до 10 ммоль/кг обусловило увеличение концентрации Pb в надземной массе от 52,4 до 208 мг/кг (максимум накопления в дозе 5 ммоль/кг). При

этом превышение относительно варианта без внесения агента (16,6 мг/кг) составило в 3,2 - 12,5 раза. Как видно из рис.2, менее эффективной среди рассматриваемых хелатообразующих соединений оказалась лимонная кислота. Исследованиями установлено, что добавление ЛК в максимальной степени увеличивало содержание Рb в надземной биомассе *V. parus L.* только до 3,5 раза относительно варианта без внесения агента, а при внесении ЦЦК – до 5 раз.

Общей тенденцией в условиях свинцовой нагрузки на почву в дозе 3 ПДК для всех используемых в эксперименте хелатообразующих агентов было то, что пик накопления Рb в побегах приходился на дозу 5 ммоль/кг. Однако, следует заметить, что превышение содержания Рb в побегах при добавлении Na-ЭДТА в дозе 5 ммоль/кг относительно дозировки в 2 ммоль/кг была незначительной и составило примерно в 1,28 раза. Поэтому использование дозы Na-ЭДТА в дозе 2 ммоль/кг в целях усиления транслокации Рb в побег из загрязненной данным металлом почвы (96 мг/кг) считаем вполне достаточной.

Мы полагаем, что в технологии индуцируемой фитоэкстракции необходимо стремиться использовать, возможно, меньшие дозировки хелатообразующих соединений в целях обеспечения безопасности от вторичного загрязнения окружающей среды.

Расчет величин КБП в условиях минимальной свинцовой нагрузки на почву (32 мг/кг) показал, что наибольшие их значения для побегов зафиксированы при использовании Na-ЭДТА (от 2 до 10 ммоль/кг), затем ЦЦК (5 и 10 ммоль/кг) (рис.3). Согласно градации Перельмана в данных вариантах Рb для побегов *V. parus L.* относится к сильно накапливаемым элементам. Причем для них характерно базипетальное распределение Рb, т.е. образуемые комплексы хелатообразующий агент – Рb больше накапливались в надземной биомассе.

В остальных вариантах опыта Рb, как правило, для побегов и корней *V. parus L.* также относился к группе сильно накапливаемых элементов. Исключение составили варианты ЛК 2 ммоль/кг и ЦЦК 1 и 2 ммоль/кг для побегов *V. parus L.*, где Рb по значениям КБП является элементом слабого накопления и среднего захвата.

В вариантах опыта свинцового загрязнения почвы в дозе 96 мг/кг Рb за некоторым исключением для побегов и корней *V. parus L.* относился к ряду сильно накапливаемых элементов.

При этом в случае Na-ЭДТА от 2 до 10 ммоль/кг выявлен наиболее интенсивный процесс биоконцентрирования свинца в побегах, где величины КБП находились в интервале 5,66-7,06 (рис.4).

При использовании хелатообразующих агентов в технологии индуцируемой фитоэкстракции на территории, загрязненной свинцом больше

значение имеет прогнозирование их эффективности по показателям выноса свинца с надземной массой *V. parus* L.

Как видно, из рис.5 из изучаемых факторов фитозэкстракции в целях максимального выноса свинца из почв, загрязненных данным металлом в дозе 32 мг/кг можно рекомендовать Na-ЭДТА в дозе 2 ммоль/кг. При усилении свинцовой нагрузки на почву до 96 мг/кг в районах с минимальным количеством осадков можно использовать Na-ЭДТА в дозе 5 ммоль, в противном случае целесообразно внесение Na-ЭДТА в дозе 2 ммоль/кг.

Выводы:

1. При свинцовом загрязнении темно-каштановой почвы Pb довольно хорошо закрепляется почвой, и лишь малая часть этого поллютанта, представлена водорастворимыми формами. При этом установлено, что для данного элемента характерна низкая подвижность в почве и накопление в формах недоступных для поглощения растениями.

2. Установлено, что исследуемые в опыте хелатообразующие соединения – лимонная кислота, щавелевая кислота и Na-ЭДТА в различной степени стимулировали процесс фитозэкстракции свинца. Поглощение свинца имело свои особенности: наиболее эффективной при воздействии Na-ЭДТА, наименее при воздействии лимонной и щавелевой кислоты.

3. В условиях минимальной свинцовой нагрузки на почву (32 мг/кг) значительное усиление аккумуляции свинца в побегах *V. parus* L. была выражена на вариантах с применением Na-ЭДТА в дозе 2 ммоль/кг, где отмечено превышение концентрации Pb в побегах относительно варианта без его внесения в 13 раз.

4. В условиях повышения свинцовой нагрузки на почву (96 мг/кг) в максимальной степени аккумуляция свинца наблюдалась при внесении Na-ЭДТА в дозе 5 ммоль/кг, затем в варианте Na-ЭДТА в дозе 2 ммоль/кг. В полевых условиях для усиления фитозэкстракции свинца видом *V. parus* L. в районах с минимальным количеством осадков можно рекомендовать Na-ЭДТА в дозе 5 ммоль/кг, в противном случае целесообразно внесение Na-ЭДТА в дозе 2 ммоль/кг. Так, повышение концентрации Pb в побегах при внесении Na-ЭДТА в дозе 2 и 5 ммоль/кг составило в 10 и 13 раз соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башмаков Д.И. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений / Башмаков Д.И., А.С. Лукаткин Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. 236 с.
2. Агрохимические методы исследования почв. М.: «Наука»; 1975. 656 с.
3. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам// Агрохимия. 1995. № 10. С. 119- 113.

4. Kloke A. Richtwerte 80. Orientierungsdaten für tolerierbare einiger Elemente in Kulturboden // Mitteilungen des VDLUFA. 1980. Bd. II. H. 1-3. S. 9.

5. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. М.: «Наука», 1968. 263 с.

6. Ринькис Г.Я. Методы ускоренного колориметрического определения микроэлементов биологических объектов. Рига: Зинатне, 1987. 175 с.

7. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.

8. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: «Мир», 1989. – 439 с.

Түйіндеме

Мақалада 1 және 3 ШРК шамада топыраққа қорғасын жүктемесі жағдайларында өсірілген *Brassica napus L.* қорғасынның фитоэкстракциясы бойынша мәліметтер берілген. Қарастырылып отырған хелат түзуші агенттерден бүршіктерге Na-ЭДТА 2 ммоль/кг шамасында (қорғасындық ластану 1 МРК шамасында) және Na-ЭДТА 2 және 5 ммоль/кг шамасында (қорғасындық ластану 3 ШРК шамасында) қорғасынның транслокациясы процесін қарқынды түрде күшейтті.

Resume

In article the data on induced phytoextraction lead by a rape summer (*B. napus L.*), grown up in the conditions of lead loading on soil in a dose 1 and 3 maximum concentration limits. From all considered chelating agents process of a translocation of lead in runaways Na-EDTA in a dose of 2 mmol / kg (lead pollution in a dose a maximum concentration limit) and Na-EDTA in a dose of 2 and 5 mmol / kg (lead pollution in a dose three maximum concentration limits) most intensively strengthened.

УДК 576.8 + 577.462

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА УРОВЕНЬ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК

Ж.К. Масалимов, А.О. Дарибай

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана

Одним из наиболее значимых генотоксических факторов окружающей среды, действующих на биологические молекулы, являются активные формы кислорода (АФК). Активные формы кислорода (перекись водорода,