

УДК 581.1: 575.1

¹А.А. Нуржанова, ²З.Г. Айташева, ²С.Н. Калугин,
¹Ж. Жумашева, ¹С. Ораз, ¹К. Кашкеев

¹Институт биологии и биотехнологии растений, Республика Казахстан, г. Алматы

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы

E-mail: gen_asil@mail.ru

Возможности использования cucurbita перо для фиторемедиации почв, загрязненных метаболитами ДДТ

Представлены результаты исследования аккумуляционной способности хлорорганических пестицидов представителями семейства Cucurbitaceae и возможности использования их в очистке пестицид-загрязненных почв. Наибольшей пестицид-аккумулирующей активностью обладали два сорта тыква («Пищевая» и Zquetta ornamentale).

Ключевые слова: пестициды, фитоэкстракция, транслокация, Cucurbitaceae.

А.А. Нуржанова, С.Н. Калугин, З.Г. Айташева, Ж. Жумашева, С. Ораз, К. Кашкеев

ДДТ метоболиттерімен ластанған топырақтарды фиторемедиациялау үшін cucurbita перо тұқым-дасын пайдалану мүмкіндіктері

Cucurbitaceae тұқымдасының өкілдерімен хлорорганикалық пестицидтердің жинақталу қабілетін зерттеу нәтижелері берілген және олардың пестицидпен ластанған топырақтарды тазартуда қолданылу мүмкіндіктері қарастырылған. Пестицид жинақтау белсенділігі асқабақтардың екі сорт үлгілерінде («Тағамдық» және “Zuquetta ornamentale”) ерекше байқалды.

Түйін сөздер: пестицидтер, фитоэкстракция, транслокация, Cucurbitaceae

A.A. Nurzhanova, Z.G. Aytasheva, S.N. Kalugin, Zh. Zhumacheva, S. Oraz, K. Kachkeev

Use of cucurbita pepo for phytoremediation of soils contaminated with DDT metabolites

The data on the accumulation of organochlorine pesticide species in the Cucurbitaceae and prospects for their implication to the remediation of pesticide-polluted soils are presented. The highest pesticide-accumulating activities have been shown for two pumpkin species (“Food pumpkin” and “Zuquetta ornamentale”).

Keywords: pesticides, phytoextraction translocation, Cucurbitaceae.

Фиторемедиация — эффективный и экономически рентабельный метод, основанный на физиологической способности растений аккумулировать в своих органах и снижать ксенобиотики в почве или воде [1, 2]. Развитие технологий или создание новых методов ремедиации преследует две цели — повышение эффективности очистки и сокращение затрат на мероприятия. С экономической точки зрения, фиторемедиация имеет преимущества перед «химическими» и «механическими» методами ремедиации почв,

так как ее внедрение не предполагает крупных капиталовложений, и эксплуатационные расходы на реализацию данной технологии невелики. Острая необходимость в разработке фиторемедиационной технологии почв, загрязненных пестицидами, возникла в связи с тем, что Казахстану в качестве «экологического наследия» от распавшегося СССР достались многочисленные очаги загрязнения устаревшими непригодными к применению пестицидами — территории бывших хранилищ химических средств защиты рас-

тений и прилегающие к ним земли. В Казахстане в каждом районе имеется от 2 до 6 недействующих хранилищ устаревших пестицидов, которые эксплуатировались в Советский период. Так, в Алматинской области, известно 63 недействующих пестицидохранилища, которым требуется рекультивация. На многих складах пестициды не утилизированы, а почва вокруг складских помещений загрязнена пестицидами и их стойкими метаболитами, ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтаном) и ГХЦГ (гексахлорциклогексаном) [3]. Территории, загрязненные остатками пестицидов, превратились в настоящее время в так называемые «горячие точки», которые представляют высокую экологическую опасность для здоровья человека и окружающей среды.

Установлено, что важнейшими компонентами технологии восстановления загрязненной хлорорганическими пестицидами почвы при помощи растений являются фитоэкстракция и фитостабилизация [4]. Фитоэкстракционный потенциал растительного организма зависит от уровня гидрофобности загрязнителя. Степень гидрофобности ($\log K_{ow}$) во многом предопределяет эффективность поглощения загрязнителя и его перемещение по растению. Стойкие органические пестициды, такие, как ДДТ и ГХЦГ, относятся к токсикантам, у которых $\log K_{ow}$ варьирует в пределах от 3,5 до 8,3. В почве эти соединения связываются с органическими или неорганическими соединениями (хелатируют), изолируются в пределах естественных твердых частиц почвы и таким образом снижают биодоступность для флоры [4, 5].

В исследованиях 90-х годов было установлено, что тыква как вид *Cucurbita* перо L. обладает способностью накапливать ДДТ из почвы. Наличие диоксинов и фуранов при сжигании листьев и плодов *Cucurbita* перо свидетельствовало о том, растение обладает способностью переносить ДДТ по цепи «почва – корневая система – надземная часть» [6]. В Иельском университете США, занимающим лидирующее положение в исследованиях по фиторемедиации, было установлено, что наиболее высоким фитоэкстракционным потенциалом обладает тыква, которая накапливает в вегетативных органах до 1,5% хлорорганических пестицидов [7]. Затем способность растений экстрагировать хлорорганические пестициды из загрязненной почвы была продемонстрирована и для других

видов. Перемещение инсектицидов, в частности хлорорганических пестицидов, из почвы было зарегистрировано в тканях салата (*Lactuca sativa* L.), люцерны (*Medicago sativa* L.), огурцов (*Cucumis sativus* L.), рапса (*Brassica napus* L.), фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.), дурнишника (*Hanthium strumarium* L.) и многих других видов и культур [8-11]. Полученные результаты позволили ученым продолжить целенаправленный поиск растений, обладающих ремедиационной способностью в отношении гидрофобных загрязнителей.

Цель исследований состояла в выявлении перспективных для использования в фиторемедиационных технологиях растений в условиях комплексного загрязнения светло-каштановых почв хлорорганическими пестицидами и в изучении поведения пестицидов в системе почва – растение.

Объектом настоящего исследования и практического решения проблемы рекультивации служили две площадки бывшего склада непригодных и запрещенных химических средств защиты растений, расположенные в пос. Кызыл-Кайрат Талгарского района Алматинской области. Имевшиеся запасы смесей химических средств защиты растений были вывезены еще в 2002 г. В настоящее время данные склады вместе с землей находятся в частном владении, окруженные поселениями сельскохозяйственных товаропроизводителей, которые выращивают овощные и технические культуры.

Для изучения фитоэкстракционного потенциала представителей семейства *Cucurbitaceae* на территории двух бывших хранилищ пестицидов был заложен опытно-производственный эксперимент с общей площадью 100 м². Участки были обработаны и разделены на мелкие делянки размером 1х1 м. На этих делянках в двух повторностях были высажены гипераккумуляторы хлорорганических пестицидов – сорта местной и международной селекции семейства *Cucurbitaceae* (сорта пищевой тыквы «Волжская серая», «Мантная Сопак», «Пищевая» и «Сухая» и сортосмесь итальянских декоративных тыкв «*Zuquetta ornamentale*»,). В качестве контроля использовали загрязненные участки без растений.

Для изучения фитоэкстракционного потенциала толерантных видов растений, произрастающих на территориях недействующих хранилищ пестицидов, определяли остаточное количество

пестицидов в вегетативных органах с помощью стандартных методов, применяемых в Казахстане на газожидкостном хроматографе «Цвет-500» с электронозахватным детектором [12].

В качестве оценочных критериев аккумуляционной способности растений использовали:

- Остаточное количество загрязнителей в почве до эксперимента, мкг/кг.
- Остаточное количество загрязнителей в надземной и подземной частях растительного организма, мкг/кг.
- Фитоэкстракцию (остаточное количество загрязнителя в вегетативных органах растений относительно биомассы), мкг.
- Коэффициент транслокации (отношение остаточного количества пестицидов в надземной части к количеству пестицидов в подземной части).

Все экспериментальные данные статистически были обработаны общепринятыми методами [13]. Построение графиков и диаграмм проводилось с

использованием компьютерной программы «Microsoft Excel».

В связи с тем, что на момент проведения работ запас ядохимикатов и пестицидов был уже вывезен, т.е. основной источник загрязнения устранен, определение загрязнения в грунтах проводилось на присутствие наиболее стойких форм с максимальным периодом полураспада – группы хлорорганических пестицидов.

Анализ показал, что почва вокруг территории бывших хранилищ пестицидов загрязнена метаболитами 2,4-ДДД, 4,4-ДДД, 4,4-ДДЭ, 4,4-ДДТ, изомерами α -ГХЦГ, β -ГХЦГ и γ -ГХЦГ, концентрации которых превышали ПДК на порядок. Основная часть загрязнений была сконцентрирована в поверхностном слое, на глубине 0-30 см (таблица 1). Почва вокруг складов отличалась между собой не только по количественному составу метаболитов ДДТ и изомеров ГХЦГ, но и по их качественному их составу. Основными загрязнителями были метаболиты 4,4-ДДЕ и 4,4-ДДТ.

Таблица 1 – Содержание метаболитов ДДТ и изомеров ГХЦГ в почве вокруг двух хранилищ химических средств защиты растений (пос. Кызыл-Кайрат, Талгарский район, Алма-тинская область)

Хлорорганические пестициды	Концентрации пестицидов на 1 участке, мкг/кг	Концентрации пестицидов на 2 участке, мкг/кг	ПДК
α	315,0 $\pm$ 27,0	162,0 $\pm$ 12,0	$\leq$ 1,0
β	2830,0 $\pm$ 145,0	283,0 $\pm$ 37,0	100,0
ГХЦГ	16,0 $\pm$ 2,0	23,0 $\pm$ 5,0	$\leq$ 1,0
4'4 ДДЕ	2087,0 $\pm$ 230,0	3867,0 $\pm$ 240,0	100,0
2'4 ДДД	695,0 $\pm$ 46,0	305,9 $\pm$ 32,0	$\leq$ 1,0
4'4 ДДТ	2599,0 $\pm$ 387,0	3902,0 $\pm$ 297,0	100,0
Сумма пестицидов	8542,0	7191,9	

Таким образом, территории бывших хранилищ пестицидов как результат «экологического наследия» Союза являются опасными очагами загрязнения окружающей среды. При этом загрязнителями являются устаревшие и непригодные к применению пестициды и СОЗ, в частности метаболиты ДДТ и изомеры ГХЦГ.

Анализ остаточного количества метаболитов ДДТ в вегетативных органах растений в течение

подтвердил, что изученные виды обладают высокой аккумуляционной способностью (таблица 2). Концентрации метаболита 4,4-ДДЕ в вегетативных органах растений, произрастающих на второй загрязненной почве, превышали ПДК до 207 раз, а 4,4-ДДТ – в 51 раз (ПДК для растений 20 мкг/кг). Следует отметить, что высокой аккумуляционной способностью 4,4-ДДЕ в вегетативных органах из загрязненной почвы об-

ладали все сорта, за исключением тыквы сорта «Сухая», а 4,4-ДДТ – только 2 сорта («Пищевая» и «Zuquetta ornamentale»).

Содержание пестицидов в вегетативных органах растений является количественным показателем. В связи с этим, с учетом биомассы и концентрации пестицидов в вегетативных органах, подсчитали, сколько пестицидов мо-

жет аккумулировать из загрязненной почвы за один вегетационный период (от начала всходов до стадии цветения) одно растение. За один вегетационный период одно растение сорта «Пищевая» аккумулировало 151,5 мкг 4,4-ДДЕ в надземной части, а в корневой системе – 2,15 мкг пестицида, а 4,4-ДДТ – 191,6 мкг и 3,35 мкг, соответственно.

Таблица 2 – Аккумуляция хлорорганических пестицидов в вегетативных органах растений

Вариант опыта	Масса почвы/растения, кг	Остаточное количество 4,4-ДДЕ, мкг/кг	Фитоэкстракция 4,4-ДДЕ, мкг	Остаточное количество 4,4-ДДТ, мкг/кг	Фитоэкстракция 4,4-ДДТ, мкг
Сорт «Сухая»					
Надземная часть	0,5870	80,0±2,0	46,96	84,0±5,0	26,00
Корневая система	0,0166	306,0±12,7	5,07	157,0±9,0	2,60
Сорт «Пищевая»					
Надземная часть	0,6620	229,0±38,0	151,50	289,0±5,0	191,60
Корневая система	0,0050	430,0±14,0	2,15	670,0±48,0	3,35
Сорт «Мантная Сопак»					
Надземная часть	0,2000	95,0±2,0	19,00	57,0±6,0	11,50
Корневая система	0,0072	957,0±14,0	6,89	551,0±48,0	3,96
Сорт «Волжская серая»					
Надземная часть	0,6050	83,0±12,0	50,50	51,0±12,0	14,80
Корневая система	0,0094	803±45	7,54	200,0±16,0	1,88
Сортосмесь декоративных тыкв «Zuquetta ornamentale»					
Надземная часть	0,2340	278,0±22,0	65,00	190,0±22,0	44,50
Корневая система	0,0014	1724,0±149,0	2,41	1335,0±176,0	18,69

Как мы отмечали, процесс миграции хлорорганических пестицидов из корневой системы в надземную часть зависит от их липофильности. Например, метаболит 4,4-ДДТ менее гидрофобен, чем 4,4-ДДЕ, поэтому метаболит 4,4-ДДЕ менее адсорбируется в надземную часть растительного организма, чем 4,4-ДДТ [4]. При изучении фитоэкстракционного потенциала представителей семейства Cucurbitaceae нами выявлено, что тыква обладает способностью поглощать из загрязненной почвы как метаболиты 4,4-ДДЕ, так метаболиты 4,4-ДДТ. Полученные данные подтверждают результаты других исследователей о том, что культура *Cucurbita pepo* L. является гипераккумулятором метаболитов ДДТ [14].

Механизм транспорта хлорорганических пестицидов слабо изучен. Известно, что хлорорга-

нические пестициды находятся в некоторых тканях растений в виде малоподвижных соединений и основным органом накопления хлорорганических пестицидов является корневая система [15].

Установлено, что представители семейства Cucurbitaceae обладали способностью как накапливать метаболиты ДДТ в корневой системе, так и транслоцировать пестициды из корневой системы в надземную часть растительного организма. Выявлено наличие остаточного количества пестицидов в стебле сорта «Пищевая» – 252,0±22,4 мкг/кг, листьях – 246±18,9 мкг/кг, соцветиях – 366,0±32,3 мкг/кг и в плодах – 20,5±7,8 мкг/кг. Аналогичные результаты получены для других представителей семейства Cucurbitaceae: в плоде сорта «Сухая» – 29,0±4,9 мкг/кг, сорта «Волжская серая» – 5,0±0,4, сорта «Мантная со-

пак» – $21,0 \pm 9,3$, а у сортосмеси декоративных тыкв «*Zuquetta ornamentale*» – $54,0 \pm 12,1$ мкг/кг. Содержание пестицидов в соцветии и незрелых плодах свидетельствуют о том, что хлорорганические пестициды транспортируются через стебель и далее перераспределяются в вегетативные и генеративные органы. Тенденцию накопления хлорорганических пестицидов в плодах можно рассматривать как проявление механизма выведения ненужных растению соединений из растительного организма.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что изученные растения, произрастающие на территориях недействующих хранилищ пестицидов, экстрагируют из загрязненной почвы метаболиты ДДТ. Наибольшей пестицид-аккумулирующей активностью обладали тыквы сорта «Пищевая» и сортосмеси «*Zuquetta ornamentale*», которые могут быть включены в список полезных растений, используемых для восстановления почв, загрязненных гидрофобными пестицидами

Литература

- 1 Dowling D., Doty S. Improving phytoremediation through biotechnology // J. Current Opinion in Biotechnology. – 2009. – Vol. 20. – P. 204-206.
- 2 Cunningham S.D., Anderson T.A., Schwab A.P., Hsu F.C. (1996) Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants // J. Advances in Agronomy – 1996. – Vol. 56. – P. 55-114.
- 3 Нуржанова А., Седловский А., Жамбакин К., Калугин С. Анализ остаточных количеств пестицидов в почвах некоторых объектов Алматинской области // Вестник КазНУ. Серия биол. – Алматы, 2003. – № 3 (31). – С. 283-2853.
- 4 Sophie Pascal-Lorber and François Lauren E. Phytoremediation Techniques for Pesticide Contaminations. – Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation. – 2011 Springer Science+Business – P. 77-105.
- 5 Alexander M. Aging, bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants // Environ. Science Techn. – 2000. – Vol. 34. – P. 4259-4265.
- 6 Hiltner L. Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie und unter Besonderer Berücksichtigung der Grundund und Brache // Zbl. Bakteriologie. – 1994. – Vol. 2. – P. 14-25.
- 7 White J.C. Different bioavailability of field-weathered p,p-DDE to plants of the Cucurbita and Cucurbit genera // Chemosphere. – 2002. – Vol. 49. – P. 143-152.
- 8 Lichtenstein E. P. Insecticidal residues in various crops grown in soils treated with abnormal rates of aldrin and heptachlor // Agricultural and Food Chemistry. – 1960. – Vol. 8. – P. 448-451.
- 9 Lichtenstein E.P. Absorption of some chlorinated hydrocarbon insecticides from soils into various crops // Agricultural and Food Chemistry. – 1959. – Vol. 7, № 6. – P. 430-433.
- 10 Karthikeyan R., Davis L., Erickson L., et al. (2004) Potential of plant-based remediation of pesticide-contaminated soil and water using non-target plants such as trees, shrubs, and grasses // Critical Reviews in Plant Sciences – 2004. – Vol. 23. – P. 1-11.
- 11 Нуржанова А., Айдосова С. Количественное и качественное содержание изомеров ГХЦГ и метаболитов ДДТ в тканях сорных растений // Известия НАН РК. серия биол и мед. – 2006. – №. 4 (256) – С. 56-62.
- 12 Унифицированные правила отбора проб сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и объектов окружающей среды для определения микроколичеств пестицидов от 13.08.97. – Алматы: Минво с/х РК, 1997. – 18 с.
- 13 Рокицкий П.П. Биологическая статистика. – Минск: Высшая школа, 1976. – 250 с.
- 14 Zeeb B., Lunney A., Reimer K. The potential for phytoremediation of DDT: greenhouse studies // 7-th Intern. «HCH and pesticides». – Kyiv. Ukraine, 2003. – P. 125-127.
- 15 Curl E., Truelove B. The Rhizosphere. – Berlin: Springer, 1986. – 260 p.

References

- 1 Dowling D., Doty S. Improving phytoremediation through biotechnology // J. Current Opinion in Biotechnology – 2009. – Vol. 20. – P. 204-206.
- 2 Cunningham S.D, Anderson T.A, Schwab A.P, Hsu F.C (1996) Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants // J. Advances in Agronomy – 1996. – Vol. 56. – P. 55-114.
- 3 Nurzhanova A., Sedlovskij A., Zhambakin K., Kalugin S. Analiz ostatochnyh kolichestv pesticidov v pochvah nekotoryh ob#ektov Almatinskoy oblasti // Vestnik KazNU. Seriya biol. – Almaty, 2003. – № 3 (31). – S. 283-285.
- 4 Sophie Pascal-Lorber and François Lauren E. Phytoremediation Techniques for Pesticide Contaminations. – Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation. – 2011 Springer Science+Business – R. 77-105.
- 5 Alexander M. Aging, bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants // Environ. Science Techn. – 2000. – Vol. 34. – P. 4259-4265.
- 6 Hiltner L. Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie und unter Besonderer Berücksichtigung der Grundund und Brache // Zbl. Bakteriologie. – 1994. – Vol. 2. – P. 14-25.
- 7 White J.C. Different bioavailability of field-weathered p,p-DDE to plants of the Cucurbita and Cucurbita genera // Chemosphere. – 2002. – Vol. 49. – P. 143-152.
- 8 Lichtenstein E. P. Insecticidal residues in various crops grown in soils treated with abnormal rates of aldrin and heptachlor // Agricultural and Food Chemistry. – 1960. – Vol. 8. – P. 448-451.
- 9 Lichtenstein E.P. Absorption of some chlorinated hydrocarbon insecticides from soils into various crops // Agricultural and Food Chemistry. – 1959. – Vol. 7, № 6. – P. 430-433.
- 10 Karthikeyan R., Davis L., Erickson L., et al. (2004) Potential of plant-based remediation of pesticide-contaminated soil and water using non-target plants such as trees, shrubs, and grasses // Critical Reviews in Plant Sciences – 2004. – Vol. 23. – P. 1-11.
- 11 Nurzhanova A., Ajdosova S. Kolichestvennoe i kachestvennoe sodержanie izomerov GHCH i metabolitov DDT v tkanjah sornyh rastenij // Izvestija NAN RK. seriya biol i med. – 2006. – №. 4 (256) – C. 56-62.
- 12 Unificirovannye pravila otbora prob sel'skohozjajstvennoj produkcii, produktov pitaniya i ob#ektov okruzhajushhej sredy dlja opredelenija mik#okolichestv pesticidov ot 13.08.97. – Almaty: Min-vo s/h RK, 1997. – 18 s.
- 13 Rokickij P.P. Biologicheskaja statistika. – Minsk: Vyshejschaja shkola, 1976. – 250 s.
- 14 Zeeb B., Lunney A., Reimer K. The potential for phytoremediation of DDT: greenhouse studies // 7-th Intern. «HCH and pesticides». – Kyiv. Ukraine, 2003. – P. 125-127.
- 15 Curl E., Truelove V. The Rhizosphere. – Berlin: Springer, 1986. – 260 r