

УДК 504.062:631.874

С.Г. Корсун, доктор сільськогосподарських наук
Г.В. Давидюк, кандидат сільськогосподарських наук
І.І. Клименко, науковий співробітник
Н.І. Довбаш, аспірант
Т.М. Хмара, інженер
ННЦ «ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕРОБСТВА НААН»

СПОСІБ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ, ЗАБРУДНЕНИХ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

Застосування «Способу фітореємедіації сільськогосподарських земель, забруднених важкими металами» в умовах Правобережного Лісостепу на території з вмістом у сірому лісовому ґрунті свинцю до 1000 мг і кадмію до 20 мг/кг показало, що вона придатна для посіву кукурудзи на зерно. Вегетативну масу кукурудзи можна заорювати в межах забрудненої території за одночасного відчуження важких металів урожаєм зерна, яке можливо використовувати на кормові потреби та для одержання біопалива (етанолу).

Ключові слова: фітореємедіація, території забруднені свинцем і кадмієм, сірий лісовий ґрунт, беззмінні посіви кукурудзи, урожайність кукурудзи на зерно, гранично допустима концентрація.

В Україні близько 8 % земель сільськогосподарського призначення містять важкі метали (ВМ) вище гранично допустимої концентрації (ГДК) [1]. Забруднення ґрунтів ВМ спонукає до пошуку способів очищення та ефективного використання цих земель.

Технології, які розроблено і запропоновано дослідниками на сучасному етапі, полягають у зніманні забрудненого шару ґрунту та депонуванні у дозволених місцях або екстракції ВМ фізико-хімічними методами чи іммобілізації *in situ* (в межах території забруднення) [2]. Такі технології потребують спеціального устаткування, є високозатратними, негативно впливають на біологічну активність і фізико-хімічні властивості ґрунту. Альтернативою їм є фітореємедіація, яка передбачає використання рослин для вилучення або стабілізації небезпечних речовин із метою зменшення їх токсичності. Такий спосіб є низьковитратним і дозволяє зберігати родючість ґрунту після вилучення поллютантів [3].

Важливим є не лише очищення забруднених ВМ територій, а й розроблення способів ефективного їх використання *in situ*, зокрема для вирощування польових культур із задовільними кількісними і якісними характеристиками врожаю. У науковій літературі висвітлено результати з пошуку рослин-аккумуляторів серед сільськогосподарських культур [4–7] та розроблено конкретні способи фітореємедіації ґрунтів за їхнього використання. Більшість способів, надаючи переконливі результати, у деякій мірі є недостатньо ефективними у зв'язку із недосконалим підходом до вибору рослини-фітореємедіанту, а також повним відчуженням рослин із місця їх вирощування, що спричиняє збіднення ґрунту на поживні елементи та органічні речовини. Крім того, за відсутності в нашій країні технологій переробки відчуженої маси рослин-фітоекстракторів її утилізують, заорюючи до верхнього шару педосфери на інших територіях. У такому разі вирішення проблеми очищення ґрунту в одному місці призводить до розширення ареалів забруднення на іншій території агроландшафту. Таким чином, більшість способів передбачає тільки очищення забруднених ґрунтів,

не враховуючи їх використання як сільськогосподарських земель для отримання корисної продукції.

З погляду на вищезазначене науковцями в нашій країні недостатньо глибоко опрацьовано способи використання сільськогосподарських земель, забруднених ВМ, для одержання безпечної продукції рослинництва за одночасного відчуження важких металів товарною частиною урожаю та запобігання розширення ареалів забруднених територій в агроландшафтах.

Метою роботи було виявити спосіб ефективного використання територій, забруднених свинцем до 1000 і кадмієм до 20 мг/кг ґрунту за рахунок вирощування як фітореємедіанту такої сільськогосподарської культури, що має високу життєздатність та буферний бар'єр по відношенню до ВМ і здатна частково акумулювати і фіксувати ВМ кореневою системою, виносячи до товарної частини урожаю лише незначну їх частку, що не перевищує ГДК, а також забезпечує зниження ризиків подальшого розширення територій забруднених цими металами.

Умови проведення досліджень. Дослідження проводили впродовж 2012–2014 рр. у стаціонарному дрібноділянковому досліді «Вплив цинку, свинцю, кадмію на продуктивність сільськогосподарських культур, агрохімічні та екотоксикологічні характеристики сірого лісового ґрунту», закладеному 1999 р. у дослідному господарстві «Чабани» Національного наукового центру „Інститут землеробства НААН” (Правобережний Лісостеп, Київська обл.). Ґрунт – сірий лісовий легкосуглинковий. Облікова площа ділянки 4 м² за чотириразового повторення. У досліді передбачено варіанти зі штучно створеними фонами ВМ: 1 – природний фон цинку, свинцю і кадмію (контроль); 2 – перевищення природного фону металів у 10 разів, 3 – у 100 разів. Створюючи фони, зважали на кислоторозчинну фракцію металів, оскільки саме вона вважається основною техногенною складовою запасу ВМ у ґрунті [8]. При закладанні досліді було встановлено, що природний фон кислоторозчинної фракції ВМ у сірому лісовому ґрунті дослідного господарства «Чабани» складав: свинцю – 10, цинку – 5, кадмію – 0,2 мг/кг ґрунту. Згідно з града-

цією, наведеною у «Методиці суцільного ґрунтового-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України» [8]. Вміст ВМ відповідав слабкому рівню забруднення ґрунту за кадмієм, помірному – за свинцем, а за цинком забруднення було відсутнє.

При формуванні екоотопів із різними рівнями забрудненості до верхнього 20–см шару ґрунту вносили солі ВМ: свинець азотнокислий ($Pb(NO_3)_2$), кадмій азотнокислий ($Cd(NO_3)_2$) і цинк азотнокислий ($Zn(NO_3)_2 + 6H_2O$).

Об'єктом досліджень була кукурудза (*Zea mais*) гібриду Здвиж МВ, яку вирощували у беззмінних посівах. Сівбу проводили широкорядним способом із міжряддями 70 см. Мінеральні добрива вносили навесні під передпосівний обробіток ґрунту в дозі $N_{120} P_{90} K_{120}$.

Вміст важких металів у рослинному матеріалі визначали методом атомної абсорбції на спектрофотометрі ААС-3 після кислотного гідролізу з наступною термодеструкцією [9]. Рівень забрудненості зерна кукурудзи ВМ оцінювали за ДСТУ 4525:2006 [10]. Лабораторні дослідження здійснено у відділі агро-екології та аналітичних досліджень ННЦ «Інститут землеробства НААН» (свідоцтво про атестацію № А-14-053 від 28.03.2014 р.).

Статистичну обробку даних виконували з використанням комп'ютерних програм: Microsoft Office Excel 2003, Statistica 5.0.

Результати дослідження. Поставлене в роботі завдання запропоновано вирішувати шляхом вирощування беззмінних посівів кукурудзи на зерно на територіях з вмістом свинцю до 1000 і кадмію до 20 мг/кг ґрунту.

Фіторе mediaцію сільськогосподарських земель, забруднених свинцем і кадмієм, автори пропонують проводити наведеним нижче способом.

На основі результатів обстеження ґрунтів території сільськогосподарських угідь, де є ймовірним забруднення (поблизу складів агрохімікатів, автомагістралей, сміттєзвалищ, колекторних відстійників і т.д.) виявляють ареали забруднення кадмієм і свинцем. На ділянці, з вмістом свинцю до 1000 і кадмію до 20 мг/кг ґрунту проводять основний обробіток ґрунту відповідно до його типу, рельєфу території, ступеню і особливостей забур'янення поля, з внесенням основного удобрення залежно від фактичного вмісту поживних елементів у ґрунті.

Передпосівний обробіток ґрунту, посів у ваговій нормі висіву 25–30 кг/га і догляд за посівами здійснюють згідно з технологією вирощування кукурудзи на зерно у відповідній ґрундово-кліматичній зоні.

Рослини кукурудзи виносять із ґрунту іони важких металів разом із вегетативною масою і зерном. Збирання врожаю проводять комбайнуванням із подрібненням надземної вегетативної маси із наступним приорованням до верхнього шару ґрунту, що сприяє локалізуванню ВМ в межах ареалу забруднення та поліпшенню фізико-хімічних властивостей ґрунту. Зерно кукурудзи використовують у кормовиробництві та для одержання біопалива (етанолу). Кукурудзу на забрудненій ділянці вирощують беззмінно впродовж періоду, необхідного для фіторе mediaції.

За вирощування беззмінних посівів кукурудзи на зерно впродовж трьох років в умовах північної частини Правобережного Лісостепу на сірому лісовому легкосуглинковому ґрунті з природним вмістом ВМ одержано урожайність зерна 7,93 т/га, а при забрудненні свинцем на рівні 100 і 1000 мг/кг ґрунту відповідно – 7,07 і 6,15 т/га (табл. 1). Зерно відповідало санітарно-гігієнічним нормативам за вмістом свинцю та кадмію для використання на кормові потреби [10] та для одержання біопалива (етанолу).

Підвищення забрудненості екоотопу свинцем і кадмієм супроводжувалось відповідним збільшенням кількості цих металів у корінні, вегетативній масі, зерні. Найбільше їх накопичувалося у корінні, значно менше – надземній вегетативній масі, а зерно виявилось найбільш захищеною частиною рослинного організму.

Висновки. Установлено, що в умовах Правобережного Лісостепу на територіях із вмістом свинцю до 1000 і кадмію до 20 мг/кг сірого лісового ґрунту є можливим проведення фіторе mediaції з використанням беззмінних посівів кукурудзи на зерно. Вегетативну масу кукурудзи доцільно заорювати в межах забрудненої території, а урожай зерна залишається придатним для використання на кормові потреби та одержання біопалива (етанолу).

Таблиця 1

Вплив забрудненості ґрунту ВМ на урожайність зерна кукурудзи

Рівень забруднення ґрунту	Урожайність, т/га	Вміст в зерні мг/кг	
		кадмій	свинець
Природний фон свинцю і кадмію: свинцю – 10, кадмію – 0,2 мг/кг.	7,93	0,00	0,4
Забруднений ґрунт: свинцю – 100, кадмію – 2 мг/кг.	7,07	0,05	0,7
Забруднений ґрунт: свинцю – 1000, кадмію – 20 мг/кг.	6,15	0,05	0,9
ГДК (для кормових потреб) [10]	–	0,30	5,00
НІР ₀₅	0,27	–	–

Література.

1. Балюк С.А. Концепція екологічного ризику деградації ґрунтового покриву України / С.А. Балюк // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 6. – С. 5–11.
2. Галиулин Р.В. Фитоэкстракция тяжёлых металлов из загрязнённых почв / Р.В. Галиулин, Р.А. Галиуллина // Агрехимия. – 2003. – № 3. – С. 77–85.
3. Robinson B.H. The potential of *Thlaspi caerulescens* for phytoremediation of contaminated soil / B.H. Robinson, M. Leblans, D. Petit // Plant and Soil. – 1998. – V. 203, № 1. – P. 47–56.
4. Андриевская Л.П. Подбор и агроэкологическая оценка сельскохозяйственных культур на способность снижать содержание тяжёлых металлов в почве / Л.П. Андриевская // Поволжский экологический вестник. Волгоград. – 1998. – Вып. 5. – С. 192–194.
5. Peralta-Videa J.P. Potential of alfalfa plant to phytoremediate individually contaminated montmorillonite-soil with cadmium (II), chromium (VI), copper(II), nickel (II) and zinc (II) / J.P. Peralta-Videa, J.L. Gardea-Torresday, E. Gomez // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 2002. – V. 69. – P. 74–81.
6. Пат. 2365078 Россия, МПК А01В79/02 Способ очистки почв от тяжелых металлов / Постников Д.А.; заявители и патентообладатели Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева. – № 2007146036/12; заявл. 13.12.2007; опубл. 27.08.2009. Бюл. № 24.
7. Пат. 60784 Україна, МПК С09К 17/00. Спосіб вилучення важких металів з техногенно забрудненого ґрунту / Яковичина Т.Ф., Шматков Г.Г., Столярова К.М., Вергун О.О.; заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська Державна Академія будівництва і архітектури». – № и201015356; заявл. 20.12.2010; опубл. 25.06.2011. Бюл. № 12.
8. Методика суцільного ґрунтового-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України / [за ред. О.О. Созінова, Б.С. Прістера]. – К., 1994. – С. 52–54.
9. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М. : ЦИНАО, 1989. – 62 с.
10. Кукурудза. Технічні умови: ДСТУ 4525:2006. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 15 с. – (Національний стандарт України).

Корсун С.Г., Давидюк А.В., Клименко И.И., Довбаш Н.И., Хмара Т.М.

Способ фиторемедиации сельскохозяйственных земель, загрязненных тяжелыми металлами

Применение "Способа фиторемедиации сельскохозяйственных земель, загрязненных тяжелыми металлами" в условиях Правобережной Лесостепи на территории с содержанием в серой лесной почве свинца до 1000 мг и кадмия до 20 мг/кг показало, что она пригодна для посева кукурузы на зерно. Вегетативную массу кукурузы можно заделывать в пределах загрязненной территории при одновременном отчуждении тяжелых металлов урожаем зерна, которое можно использовать на кормовые цели и для получения биотоплива (этанола).

Ключевые слова: фиторемедиация, территории, загрязненные свинцом и кадмием, серая лесная почва, бессеменные посевы кукурузы, урожайность кукурузы на зерно, предельно допустимая концентрация.

Korsun S.G., Davydyuk H.V., Klymenko I.I., Dovbash N.I., Hmara T.M.

Method of phytoremediation on agricultural land contaminated by heavy metals

The use of the "Method of phytoremediation agricultural land contaminated by heavy metals" in the Right-Bank Lisosteppe on site content in gray forest soils lead to 1,000 mg of cadmium and 20 mg/kg showed that it is suitable for planting corn. Vegetative mass of corn can be ploughed in within the contaminated area with simultaneous exclusion of heavy metals harvest of grain, which can be used as forage and to produce biofuels (ethanol).

Key words: phytoremediation, areas contaminated by lead and cadmium, gray forest soil, permanent crops of corn, corn yield, maximum permissible concentration.

Рецензенти

Палапа Н.В. – д. с.-г. н.

Слюсар І.Т. – д. с.-г. н.

Стаття надійшла до редакції 07.10.2014 р.