

ТОЛЕРАНТНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ДО ТОКСИЧНОЇ ДІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Висвітлена толерантність сільськогосподарських культур до токсичної дії Cd, Pb та Zn за факторами врожайності та вмістом важких металів у зерні. Вона змінювалась в ряді: просо > озимі зернові > горох > ярі зернові. Встановлено, що просо можна використовувати для фітостабілізації ґрунту при низькому рівні забруднення важкими металами.

Постановка проблеми

В умовах збільшення антропогенного навантаження та забруднення довкілля важкими металами (ВМ) досить актуальним є пошук шляхів збереження екологічних функцій ґрунту, а також збільшення врожайності та якості зерна сільськогосподарських культур. Наприклад тільки в Дніпропетровській області виявлено близько 30 % забруднених ВМ орних земель з різним рівнем їх накопичення. Тому постає питання можливості отримання екологічно безпечної продукції рослинництва, що відповідає нормам ГДК на ґрунтах з низьким рівнем забруднення (1,0–1,5 ГДК за В.Б.Льїним (1995)) за рахунок вирощування толерантних сільськогосподарських культур.

Відомо, що толерантність рослин до ВМ пов'язана з активізацією в них комплексу захисних механізмів, серед яких виділяють зовнішні – не пов'язані з життєдіяльністю рослинного організму, а які є наслідком властивостей ґрунту, здатних зменшувати потік іонів ВМ у рослину і внутрішні, тобто ті, котрими володіє сама рослина [2, 6]. Толерантність сільськогосподарських культур визначається як за їх біологічними особливостями, так і ступенем токсичності ВМ [7].

Фітотоксичність ВМ залежить від їх хімічних властивостей, таких як валентність, іонний радіус і здатність до комплексоутворення [1] і ґрунтових факторів: концентрації ВМ у ґрунтовому розчині, рН, смності поглинання, вмісту гумусу, гранулометричного складу, температури і вологості ґрунту [5].

Границі токсичності ВМ розрізняються в сільськогосподарських культурах і залежать від особливостей екскреторної можливості до поглинання, а також неоднакової дії хімічних елементів на процеси транслокації [5].

Тому виникає потреба у вивченні толерантності до токсичної дії ВМ сільськогосподарських культур, поширених в Дніпропетровській області, з метою визначення найбільш стійкої, а також можливості її вирощування на ґрунтах з низьким рівнем забруднення ВМ.

Аналіз основних публікацій та завдання досліджень

Інтенсивність прояву симптомів токсичності, що викликає надлишок іонів $ВМ^{2+}$, варіює в залежності від виду сільськогосподарських культур, фітотоксичності самого ВМ та екологічних властивостей ґрунту. За свідченням А.І. Фатєєва (2001) стосовно Zn і Ni на дерново-підзолистих ґрунтах вона знижується в ряді: пшениця – овес – редис, а до Cd: пшениця – редис – овес [7]. Найбільш стійкою до нагромадження Cr, Cd та Zn у товарній частині серед овочевих культур є капуста, а чутливою – кріп; Pb – картопля та столовий буряк відповідно [4]. Раніше вважалось, що найбільш чутлива культура до токсичної дії ВМ – це горох і саме його рекомендували як фітоекстрагент, проте зараз згідно з даними В.В.Таланової (2001) для фітоекстракції ВМ з ґрунту слід використовувати крес-салат, овес та ярий ячмінь.

На жаль відомості щодо ступеня толерантності сільськогосподарських культур з урахуванням конкретного забруднювача та ґрунтових умов є досить неповними, тому головна мета полягала у визначенні стійкості зернобобових, ярових і озимих зернових культур до забруднення ґрунту ВМ. Для досягнення мети вирішували наступні задачі:

- вивчали реакцію-відгук сільськогосподарських культур до токсичної дії ВМ за факторами врожайності та вмістом політантів у зерні;
- визначали фітотоксичність ВМ;
- вивчали можливість використання толерантної культури як фітостабілізатора забрудненого ВМ ґрунту.

Об'єкти і методика досліджень

Об'єктом досліджень виступала реакція-відгук сільськогосподарських культур, що вирощуються в Дніпропетровській області на забруднення ґрунту ВМ.

Дослідження проводили протягом 2001–2006 рр. на Ерастівській дослідній станції Інституту зернового господарства УААН. Ґрунт – чорнозем звичайний малогумусний важкосуглинковий, з наступними агрохімічними показниками: вміст гумусу (за І.В. Тюріним) 3,5–4,0%, загального азоту 0,20–0,23%, фосфору 0,10–0,12%, валовий вміст калію 2,0–2,3%. Кількість легкогідролізованого азоту (за І.В. Тюріним і М.М. Коновою) 10,0–11,4 мг на 100 г сухого ґрунту при можливості поповнення його доступних форм за рахунок нітрифікаційної здатності (за Кравковим) – 2,4–2,8 мг на 100 г ґрунту. Вміст рухомих форм фосфору в орному шарі становить 8,8–9,8 мг, калію 14,3–15,4 мг у 100 г ґрунту (метод Ф.В. Чирикова). Валовий вміст мікроелементів такий: Zn – 38,8–40,4; Mn – 473,0–484,0; Cu – 12,5–14,2; Co – 8,0–8,3; Fe – 835,0–845,0; Pb – 32,4–33,1; Cd – 0,38–0,39 мг/кг ґрунту і, відповідно, рухомих форм, що складають невеликий відсоток від валових: рухомого Zn – 0,96–1,20; Cu – 0,13–0,15; Co – 0,42–0,48; Mn – 57,5–63,8; Fe – 27,6–28,0; Pb – 0,05–0,10; Cd – 0,10–0,11 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної (рН 6,75).

Толерантність культур до токсичної дії ВМ вивчали на фонах: 1 – без добрив, 4 – $N_{90}P_{90}K_{60}$. В орному шарі ґрунту (0–30 см) моделювали дуже небезпечний рівень (у 5 ГДК) забруднення за В.Б. Ільїним (1995). Із усього різноманіття ВМ були вибрані Pb, Cd і Zn, які, за свідченнями екологів Придніпров'я, є пріоритетними небезпечними забруднювачами чорноземів звичайних. У дослідях вивчали реакцію-відгук (максимально можлива врожайність при показниках якості зерна, що відповідають санітарно-гігієнічним і екологічним нормам) наступних сільськогосподарських культур: озимої пшениці (сорт Одеська 162); озимого ячменю (сорт Силует); озимого жита (сорт Харківське 98); тритікале (сорт Амфідиплоїд 42); ярого ячменю (сорт Прерія); вівса (сорт Синельниківський 73); гороху (сорт Таловець); проса (сорт Миронівське 51).

Аерогенне забруднення ґрунту здійснювали шляхом обприскування водними розчинами нітратних солей ВМ з наступною заробкою у ґрунт під ярі та зернобобові навесні під передпосівну культивуацію, а під озимі – восени під основний обробіток ґрунту. Площа забрудненої ділянки складала 1 м², ширина захисних смуг – 1,0 м, повторність дослідів чотириразова.

Здатність толерантної культури до фітостабілізації забрудненого ґрунту перевіряли при вмісті ВМ у 1,5 ГДК, що відповідає низькому рівню забруднення за В.Б. Ільїним (1995).

Технологія вирощування сільськогосподарських культур загальноприйнята для зони.

В дослідях враховували врожай зерна сільськогосподарських культур, у зерні визначали ВМ на атомно-абсорбційному спектрофотометрі після сухого спалювання.

Математичну обробку експериментальних даних здійснювали методом дисперсійного аналізу згідно з методиками Б.А. Доспехова (1985) та Г.Ф. Лакіна (1990) з використанням пакету Excel-97.

Результати досліджень

Результати спостережень за розвитком досліджуваних сільсько-господарських культур показали, що токсичний вплив ВМ відзначався з початкових етапів онтогенезу і до збирання врожаю. Він полягав у появі хлорозів і некрозів, уповільненні етапів органогенезу в середньому на 3–5 днів, інгібуванні ростових показників вегетативних і генеративних органів, невиконаності зерна, незважаючи на наявність у рослин трьох захисних бар'єрів на шляху транслокації цих поллютантів: на границі ґрунтовий розчин – корінь; корінь – вегетативні органи; вегетативні – генеративні органи і, як наслідок, призводив до зниження врожайності.

Забруднення ґрунту ВМ, узятими в кількості п'яти ГДК, призводило до значного зниження врожайності ярових зернових культур (до 79,7%, табл. 1), що пов'язано з їх порівняно невеликим терміном вегетації, складом і рН ексудатів, особливостями будови кореневої системи, яка проникає в ґрунт на невелику глибину – усього на 65–75 см, а отже, і більш інтенсивним поглинанням VM^{2+} з верхнього шару ґрунту. Друге місце щодо чутливості до ВМ за фактором врожайності займав горох. Недобір урожаю гороху на забруднених варіантах становив 64,6–72,2%. На відміну від кореневої системи ранніх ярових (ярового ячменя і вівса) коренева система озимих розвивається на глибину до 1,5 м, при чому основна її маса знаходиться нижче забрудненого шару ґрунту (0–30 см). Активізації механізмів толерантності озимих також сприяє їх життєвий цикл, який протікає у два періоди: восени відбувається кущення і коренева система досягає (50–60 см), тобто переростає забруднений шар а в зимовий період, коли рослини знаходяться у стані спокою, відбувається закріплення VM^{2+} ГВК, зменшується їхня рухомість, а отже, і токсичність для озимих. Крім того, за свідченням В.В.Таланової, А.Ф. Титова і Н.П. Бойової (2001), попередня обробка насіння ВМ індуцює підвищення їх внутрішніх захисних механізмів і дозволяє надалі переносити без згубних наслідків дію більш високих концентрацій. Отже, токсичний ефект від забруднення ґрунту був виражений слабше, а саме: врожайність озимих знижувалась на варіанті з Cd до 56,7%, Pb – 51,7%, Zn до 52,7% (табл. 1). За ступенем зниження врожайності озимі можна розмістити: озимий ячмінь > озима пшениця > тритикале > озиме жито.

Культурою, чия врожайність знижувалась у найменшій мірі (всього 15,3–28,2% під токсичним впливом іонів VM^{2+}), було просо сорту Миронівське 51, що зумовлено його біологічними особливостями [8].

Таблиця 1. Токсичний вплив ВМ на урожайність сільськогосподарських культур, ц/га

С.-г. культу ра	Фон	Без забруднення (контроль)				Забруднення ВМ											
						Cd				Pb				Zn			
		2001	2002	2003 (2004)	ср	2001	2002	2003 (2004)	ср	2001	2002	2003 (2004)	ср	2001	2002	2003 (2004)	ср
Ярий ячмінь Прерія	1	35,1	27,0	22,1	28,1	7,0	3,5	6,6	5,7	7,1	4,2	6,7	6,0	6,1	9,1	7,7	7,6
	4	41,1	33,2	25,4	33,3	10,6	8,9	8,2	9,2	10,8	9,2	8,3	9,4	10,8	13,2	9,8	11,3
НСР _{0,95} , ц/га		1,9	1,1	0,8		0,4	0,8	0,2		0,6	1,1	0,4		0,7	0,5	0,1	
P, %		1,51	1,15	0,96		0,81	2,02	0,55		1,05	2,16	0,83		1,40	0,76	0,27	
Овес Синель- никівський	1	32,3	30,5	31,2	31,3	8,3	7,4	9,2	8,3	9,8	10,3	9,7	9,9	9,6	10,8	10,7	10,4
	4	42,2	38,2	35,6	38,7	10,5	9,7	10,4	10,2	13,3	14,4	11,8	13,2	17,3	16,0	14,2	15,8
НСР _{0,95} , ц/га		1,5	1,6	0,5		0,4	1,2	0,4		0,4	0,4	0,8		1,4	0,6	0,5	
P, %		1,19	1,42	0,47		0,66	2,36	0,64		0,54	0,51	1,16		1,75	0,70	0,66	
Горох Таловий	1	25,3	17,0	13,9	18,7	6,6	4,7	4,3	5,2	7,1	5,0	4,6	5,6	9,0	6,2	5,2	6,8
	4	29,6	24,8	17,6	24,0	10,4	8,7	6,3	8,5	10,3	8,7	6,6	8,5	10,5	8,8	7,1	8,8
НСР _{0,95} , ц/га		1,2	1,3	0,5		0,8	0,2	0,6		0,6	1,0	0,3		1,6	0,8	0,1	
P, %		1,26	1,91	0,97		1,55	0,60	1,94		1,09	2,14	0,84		2,70	1,67	0,38	
Озима пшениця Одеська 162	1	65,2	32,6	56,4	51,4	30,1	17,0	29,4	25,5	32,3	17,9	31,0	27,1	36,5	19,5	34,0	30,0
	4	73,2	36,2	60,4	56,6	31,2	18,1	30,3	26,5	34,6	18,3	32,6	28,5	37,9	20,4	35,5	31,3
НСР _{0,95} , ц/га		1,9	2,3	0,7		1,6	0,8	0,5		1,9	0,8	1,2		0,4	0,3	0,4	
P, %		0,84	1,99	0,36		0,87	0,71	0,28		0,92	0,69	0,60		0,16	0,23	0,18	

С.-г. культу ра	Фон	Без забруднення (контроль)				Забруднення ВМ											
						Cd				Pb				Zn			
		2001	2002	2003 (2004)	ср	2001	2002	2003 (2004)	ср	2001	2002	2003 (2004)	ср	2001	2002	2003 (2004)	ср
Озимий ячмінь Силует	1	42,6	26,5	44,5	37,9	16,9	12,0	20,3	16,4	20,5	12,8	21,5	18,3	17,9	13,6	22,8	18,1
	4	49,2	34,2	51,9	45,1	25,7	15,8	24,2	21,9	20,7	16,3	25,1	20,7	22,5	17,5	26,6	22,2
НСР _{0,95} , ц/га		1,6	1,9	0,3		0,5	0,5	0,4		2,6	1,0	1,3		0,9	1,4	0,8	
Р, %		1,01	1,90	0,15		0,40	0,61	0,28		2,06	1,17	0,88		0,71	1,44	0,51	
Тритика-ле Амфі- диплоїд 42	1	52,2	42,1	14,2	36,2	21,6	18,9	7,2	15,9	25,4	21,8	7,5	18,2	28,2	24,2	8,3	20,2
	4	59,8	46,6	16,2	40,9	24,3	21,1	8,3	17,9	28,3	23,4	8,4	20,0	31,2	25,6	9,0	21,9
НСР _{0,95} , ц/га		1,4	0,6	0,5		3,8	0,8	0,2		2,3	1,3	0,9		0,6	0,4	0,3	
Р, %		0,75	0,39	1,04		2,17	0,66	0,52		1,38	0,91	1,84		0,34	0,25	0,54	
Озиме жито Харків- ське 98	1	41,3	37,0	12,0	30,1	21,1	19,3	6,7	15,7	21,5	20,0	7,0	16,2	19,6	21,0	7,3	16,0
	4	49,3	44,2	14,3	35,9	23,9	21,8	8,2	18,0	27,7	24,5	8,4	20,2	25,3	24,7	8,6	19,5
НСР _{0,95} , ц/га		1,1	2,4	0,7		3,6	1,3	0,9		2,0	1,6	0,2		2,5	0,9	0,8	
Р, %		0,73	1,79	1,69		2,60	1,05	1,97		1,33	1,19	0,53		1,83	0,64	1,57	
Просо Миро- нівське 51	1	10,9	13,2	15,2	13,1	8,6	10,2	10,4	9,7	7,5	9,1	11,7	9,4	9,4	11,5	12,4	11,1
	4	14,6	16,6	18,7	16,6	11,8	13,1	13,8	12,9	11,0	12,5	14,1	12,5	11,3	13,4	14,6	13,1
НСР _{0,95} , ц/га		1,1	0,7	0,3		1,7	0,3	0,8		1,1	0,4	0,5		0,6	1,0	0,1	
Р, %		2,14	1,50	0,59		1,26	0,3	0,8		1,99	0,57	0,66		0,91	1,32	0,17	

Примітка: 1) Фон 1 – без внесення добрив; Фон 4 – N₉₀P₉₀K₆₀;

2) у ярих зернових, гороху та проса урожайні дані взяті за 2001, 2002 та 2003 рр, а в озимих зернових за 2001, 2002 та 2004 рр. в зв'язку з несприятливими погодними умовами, що призвели до загибелі озимих в 2003 р.

Таблиця 2. Вміст ВМ в зерні сільськогосподарських культур (середнє за 2001–2004 рр.), мг/кг

Сільськогосподарська культура	Фон	Незабруднений ґрунт			Забруднений ґрунт		
		Cd	Pb	Zn	Cd	Pb	Zn
Ярий ячмінь	1	0,08	0,36	23,7	2,32	65,3	228,3
Прерія	4	0,14	0,43	25,1	2,58	69,7	232,1
Овес	1	0,10	0,24	15,4	1,73	56,2	204,7
Синельниківський 73	4	0,12	0,32	16,8	1,87	67,5	228,6
Горох	1	0,06	0,36	31,2	1,62	54,9	163,0
Таловець	4	0,07	0,38	32,5	1,64	58,6	175,8
Озима пшениця	1	0,03	0,18	29,4	1,58	44,0	155,1
Одеська 162	4	1,04	0,20	31,7	1,59	45,8	156,9
Озимий ячмінь	1	0,05	0,12	20,6	1,63	40,9	146,5
Силует	4	0,07	0,17	23,4	1,69	43,0	148,6
Тритікале	1	0,05	0,12	32,6	1,41	41,6	141,7
Амфідіплоїд 42	4	0,06	0,16	35,0	1,61	42,8	143,9
Озиме жито	1	0,05	0,11	37,5	1,56	42,5	147,4
Харківське 98	4	0,06	0,15	38,9	1,60	44,1	149,7
Просо	1	0,04	0,30	16,4	0,83	35,5	132,8
Миронівське 51	4	0,05	0,36	17,2	1,02	37,8	135,7
НСР _{0,95} , ц/га		0,01-0,02	0,04-0,06	1,1-1,7	0,03-0,11	0,4-0,9	2,1-3,2
P, %		0,88-1,34	0,73-1,06	0,52-,83	0,43-1,12	0,27-0,58	0,45-0,69
ГДК		0,20	2,00	50,0	0,20	2,00	50,0
МДР у кормах		0,30	5,00	50,0	0,30	5,00	50,0

Примітка: Фон 1 – без внесення добрив; Фон 4 – N₉₀P₉₀K₆₀

Вміст ВМ у зерні сільськогосподарських культур, вирощених на незабруднених ділянках, за значення ГДК і МДР був меншим в декілька разів (табл. 2). Проте дуже небезпечний рівень забруднення ґрунту (за В.Б. Ільїним, 1995) у 5 ГДК сприяв накопиченню токсикантів у небезпечних кількостях. Вміст ВМ у зерні ні в одній з культур, що вивчали, не відповідав нормам ГДК в продуктах харчування та МДР – кормах. Найменшу кількість накопичувало у своєму зерні просо, у 1,7–2,8 раза менше у порівнянні з яровими зерновими. Реакція-відгук за фактором вміст у ВМ в зерні дублювала ряд толерантності сільськогосподарських культур за фактором урожайності, а саме: просо > озимі зернові > горох > ярі зернові.

Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{90}P_{90}K_{60}$ приводило, по-перше, до підвищення врожайності на забруднених ВМ варіантах (табл. 1) за рахунок використання додаткового джерела елементів живлення, а по-друге, – до більшого накопичення ВМ у товарній частині рослин порівняно з фоном без внесення добрив (табл. 2), тому що добрива як домішки містять у своєму складі невелику кількість ВМ [3].

Найбільший токсичний ефект згідно з реакцією-відгуком за факторами врожайність і вмістом ВМ у зерні спостерігався при забрудненні Cd, який згідно А.І. Перельману (1990) за ступенем накопичення відноситься до елементів легкого поглинання. Pb і Zn за їх фітотоксичністю відносять до елементів, котрі мають середній ступінь до поглинання. Найменший токсичний ефект спостерігався при забрудненні Zn – елементом другого класу токсичності, особливо у проса.

Серед досліджуваних культур найбільш толерантним виявилось просо, тому була перевірена його здатність до фітостабілізації ґрунту в умовах низького рівня забруднення – в 1,5 ГДК за В.Б. Ільїним (1995) в мікропольових дослідках у 2004–2006 рр. Як правило, при низькому рівні забруднення, рухомість ВМ у ґрунті невелика, а отже, вони у меншій мірі будуть поглинатися рослинами. На забруднених варіантах спостерігався недобір урожаю зерна у 1,2–1,8 ц/га, проте вміст ВМ у зерні становив: Cd – 0,18 мг/кг; Pb – 1,67 мг/кг; Zn 43,6 мг/кг, що відповідало нормам ГДК і МДР. Просо за рахунок своїх біологічних можливостей не виносило надмірної кількості токсикантів і не нагромаджувало їх в своїй товарній частині, тому саме його можна рекомендувати вирощувати на ґрунтах з низьким рівнем забруднення ВМ.

Висновки

1. Проведено оцінку реакції-відгуку основних сільськогосподарських культур, що вирощуються в Дніпропетровській області (яровий ячмінь, овес, озима пшениця, тритікале, озиме жито, озимий ячмінь, горох, просо) на токсичну дію ВМ за факторами урожайності та накопичення ВМ у

товарній частині. Встановлено, що найбільший токсичний ефект спостерігався при забрудненні ґрунту Cd, а найменший – Zn. Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{90}P_{90}K_{60}$ сприяє накопиченню ВМ.

2. Толерантність вказаних культур змінювалася у ряді: просо > озимі зернові > горох > ярі зернові. Культурою-фітостабілізатором слід визнати просо сорту Миронівське 51, при забрудненні ґрунту ВМ у 1,5 ГДК вміст цих токсикантів у зерні відповідає нормам ГДК в продуктах харчування та МДР у кормах.

Перспективи подальших досліджень потрібно зосередити: по-перше на вивченні реакції-відгуку до токсичної дії ВМ круп'яних, олійних та кормових культур Дніпропетровської області з метою визначення серед них найбільш толерантних; а по-друге – на розробці сівозмін на основі цих культур для слабо забруднених ґрунтів.

Література

1. Гуральчук Ж.З. Механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам // Физиология и биохимия культурных растений. – 1994. – Т. 26, №2. – С. 107–115.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск.: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 151 с.
3. Крамарев С.М., Скрипник Л.Н., Коваленко В.Е. и др. Агроэкологическая оценка применения минеральных удобрений в агроценозах кукурузы в условиях Степной зоны Украины // Агрехимия. – 2000. – №2. – С. 67–72.
4. Плеханова И.О., Кутукова Ю.Д., Обухов А.И. Накопление тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями при внесении осадков сточных вод // Почвоведение. – 1992. – №12. – С. 1530–1536.
5. Самохвалова В.Л., Мирошниченко М.М., Фатеев А.И. Порогові рівні токсичності важких металів для сільськогосподарських культур // Вісник аграрної науки. – 2001. – №11. – С. 61–65.
6. Таланова В.В., Титов А.Ф., Боева Н.П. Влияние возрастающих концентраций тяжелых металлов на рост проростков ячменя и пшеницы // Физиология растений. – 2001. – Т. 48, №1. – С. 119–123.
7. Фатеев А.И., Мирошниченко Н.Н., Самохвалова В.Л. Миграция, транслокация и фитотоксичность тяжелых металлов при полиэлементном загрязнении почвы // Агрехимия. – 2001. – №3. – С. 57–61.
8. Яковичина Т.Ф. Детоксикация загрязненных тяжелыми металлами черноземов обыкновенных северной Степи Украины: Дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.16. – Днепропетровск, – 2006. – 226 с.