

УДК 633.3: 504.53.062.4

## ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ЗАЛЕЖНО ВІД НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТІ

С.Г. Корсун, Н.І. Довбаш, І.І. Клименко

Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»  
вул. Машинобудівників 2-Б, смт Чабани, Київська обл., 08162, Україна  
(Nadezda\_D@ukr.net)

Одним із актуальних завдань сучасної агрохімії є визначення можливості використання ґрунту, забрудненого важкими металами, для вирощування польових культур. Дослідження вели в тривалому дрібноділянковому досліді, де вивчали вплив забрудненості сірого лісового легкосуглинкового ґрунту свинцем, кадмієм і цинком на продуктивність кукурудзи на зерно гібриду Здвиг МВ. Стан агроценозу кукурудзи досліджували впродовж основних етапів органогенезу. Вміст важких металів у рослинному матеріалі визначали методом атомної абсорбції на спектрофотометрі ААС-3 після кислотного гідролізу з наступною термодеструкцією. Кількість білка у зерні та вегетативних органах визначали методом інфрачервоної спектроскопії на аналізаторі NIR Systems 4500. Установлено високу стійкість рослин кукурудзи в умовах агроекотопів, забруднених важкими металами. Сірі лісові ґрунти Правобережного Лісостепу з концентрацією свинцю в орному шарі до 1000 мг, цинку до 500 мг і кадмію до 20 мг на кг ґрунту залишаються придатними для вирощування кукурудзи на зерно із збереженням рівня урожайності 6,15–7,93 т/га. Виявлено перевищення ГДК свинцю для продовольчого зерна, отриманого в агроекотопах зі вмістом свинцю 100–1000 мг/кг ґрунту. Встановлено позитивний зв'язок між накопиченням ВМ у зерні та кількістю протеїну за коефіцієнтів кореляції для свинцю 0,95, кадмію – 0,88, цинку – 0,77. Запропоновано використання зерна кукурудзи, отриманого в умовах агроекотопів, забруднених важкими металами, для кормових та технічних цілей.

**Ключові слова:** важкі метали; ґрунт; екотоп; кукурудза; продуктивність; протеїн.

**Вступ.** Однією з причин незбалансованого розвитку агроекосистем в Україні вітчизняні вчені вважають високий рівень техногенного забруднення навколишнього природного середовища [1]. Найбільш поширеними політантами є важкі метали (ВМ) [2]. Обґрунтовану тривогу дослідників викликає зростання забруднення важкими металами, пов'язане з використанням автотранспорту, щорічним спалюванням мільйонів тонн вугілля та іншого палива, агротехногенним навантаженням. Упродовж останніх десятиліть щорічний видобуток кадмію з надр Землі у світі становить близько 22 тис. т, свинцю – 783 тис. т, цинку – 1,35 млн т [3]. Частина від загальної кількості надходить на поверхню ґрунту і депонується ним у міцно фіксованій формі, але значна кількість залишається мобільною, спричиняючи зміни агрохімічних і екотоксикологічних властивостей ґрунту. Особливо небезпечним є забруднення політантами сільськогосподарських угідь. В Україні близько 8 % земель сільськогосподарського використання містять ВМ вище гранично допустимої концентрації (ГДК) [1]. Забруднення ґрунтів ВМ спонукає до пошуку способів очищення та ефективного використання цих земель.

Депонування забруднювачів ґрунтом у ряді випадків унеможливорює реалізацію потенціалу сорту сільськогосподарських культур, спричиняє забруднення рослинницької продукції [4]. Адже в процесі онтогенезу рослин метали з ґрунту надходять до коренів і надземної маси, змінюючи кількісні та якісні характеристики урожаю сільськогосподарських культур [5]. Тому одним із актуальних завдань сучасної агрохімії є визначення продуктивності польових культур, а також біохімічних і токсикологічних характеристик урожаю в умовах забрудненості агроекотопів ВМ і виявленні можливості використання таких ґрунтів для вирощування польових культур.

Метою роботи було дослідження зміни продуктивності кукурудзи на зерно

залежно від рівня забрудненості ґрунту свинцем, кадмієм і цинком в умовах Правобережного Лісостепу.

**Об'єкти і методи 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 м<sup>2</sup> 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; 4 – у 5 разів. Створюючи фони зважали на кислоторозчинну фракцію металів, оскільки саме вона вважається основною техногенною складовою запасу ВМ у ґрунті [6]. Під час закладання досліді було визначено, що природний фон кислоторозчинної фракції ВМ у сірому лісовому ґрунті дослідного господарства “Чабани” є таким: свинцю – 10, цинку – 5, кадмію – 0,2 мг/кг ґрунту. Згідно з градацією, наведеною у «Методиці суцільного ґрунтового-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України» [6], вміст ВМ відповідав слабкому рівню забруднення ґрунту кадмієм, помірному – свинцем та відсутності забрудненості цинком.

Для формування екотопів з різними рівнями забрудненості до верхнього (0–20 см) шару ґрунту вносили такі солі ВМ: свинець азотнокислий ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), кадмій азотнокислий ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ) і цинк азотнокислий ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ ).

Накопичення ґрунтом свинцю, цинку і кадмію, змінюючи показники його токсикологічного стану, спричинило певні тенденції у зміні фізико-хімічних і агрохімічних характеристик, але величина обмінної кислотності, вміст гумусу, доступних форм азоту, фосфору і калію залишались у межах одного рівня, відповідно до групування ґрунтів за властивостями у ДСТУ 4362:2004 [7]. Так обмінна кислотність була визначена як середня, вміст гумусу – низький, забезпеченість доступним азотом дуже низька, фосфором – підвищена, калієм – висока.

Об'єктом досліджень була кукурудза (*Zea mays*) гібриду Здвиж МВ. Сівбу проводили широкорядним способом з міжряддями 70 см. Мінеральні добрива вносили навесні під передпосівний обробіток ґрунту в дозі  $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ .

Визначення біометричних показників рослин проводили у фазу 3–4 листів, цвітіння та молочної стиглості. Для виявлення динаміки накопичення ВМ вегетативними органами рослин кукурудзи проби надземної вегетативної маси та коренів відбирали впродовж основних етапів органогенезу: 3–4 листки; 12–13 листків; цвітіння; молочної та повної стиглості.

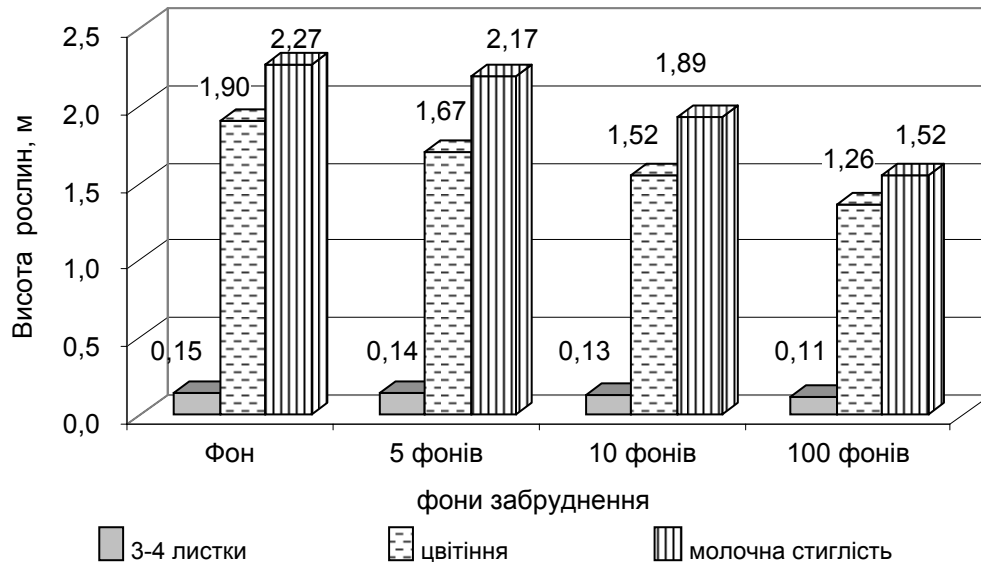
Вміст важких металів у рослинному матеріалі визначали методом атомної абсорбції на спектрофотометрі ААС-3 після кислотного гідролізу з наступною термодеструкцією [8]. Рівень забрудненості зерна кукурудзи ВМ оцінювали за ДСТУ 4525:2006. Кількість білка у зерні та вегетативних органах визначали методом інфрачервоної спектроскопії на аналізаторі NIR Systems 4500. Лабораторні дослідження здійснено у відділі агроєкології 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.

**Аналіз результатів досліджень.** Дослідження стану агроценозу кукурудзи в умовах забруднення ґрунту свинцем, кадмієм, цинком засвідчило високу стійкість культури до підвищення вмісту ВМ у ґрунтового середовищі. Передбачені дослідом варіанти дозволили одержати урожай зерна на всіх ділянках, але забруднення ґрунту погіршувало умови росту і розвитку рослин, що відобразилось на біометричних

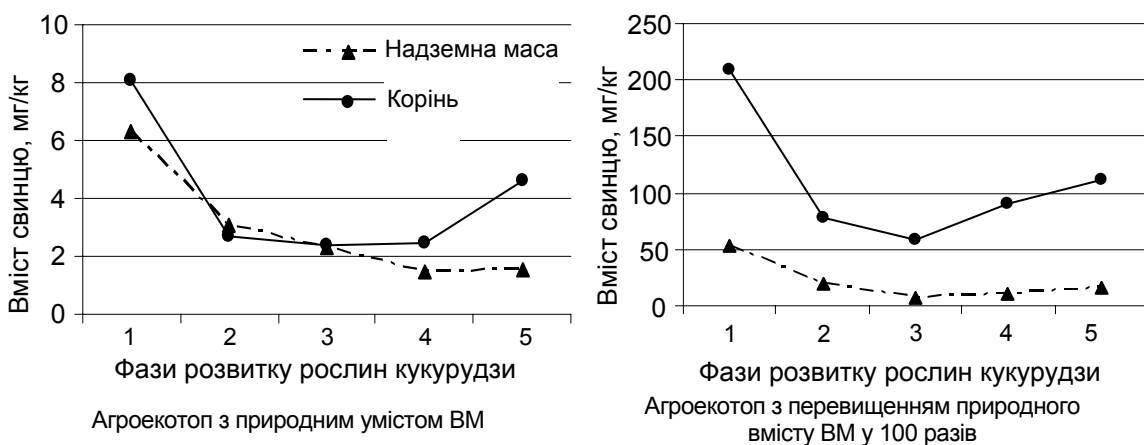
показниках, урожайності, кількості білка та концентрації токсичних металів у зерні.

З підвищенням вмісту ВМ у ґрунті змінювались біометричні показники рослин кукурудзи. Між висотою рослин в основні фази органогенезу і забрудненістю ґрунту виявлено тісний обернений кореляційний зв'язок: у фазу 3–4 листки коефіцієнт кореляції відповідав  $r = -0,922$ , цвітіння –  $r = -0,823$ , молочної стиглості –  $r = -0,923$ . З розвитком рослин негативний вплив металів на лінійний ріст кукурудзи посилювався, досягаючи максимуму у період інтенсивного накопичення вегетативної маси. Якщо у фазу 3–4 листка різниця висоти рослин між природним фоном і іншими варіантами фонів складала 4–29 %, то у фазу 12–13 листків ця різниця зростає до 8–36 %, за цвітіння – 13–34 % (рис. 1).



**Рис. 1. Висота рослин кукурудзи за основними фазами органогенезу залежно від фону забрудненості ґрунту, 2012–2014 рр.**

Установлено, що за понадфонових концентрацій ВМ у ґрунті різко зріс рівень вмісту свинцю, кадмію і цинку у коренях і надземній вегетативній масі рослин кукурудзи. У всіх варіантах відмічено зниження концентрації токсичних елементів впродовж фаз інтенсивного росту: 12–14 листків і цвітіння, порівняно з початком вегетації – фаза 3–4 листки. Найбільшу кількість токсичних металів накопичувало коріння, значно менше – надземна вегетативна маса (рис. 2).



Фази розвитку рослин кукурудзи: 1 – 3–4 листки; 2 – 12–13 листків; 3 – цвітіння; 4 – молочна стиглість; 5 – повна стиглість

**Рис. 2. Уміст свинцю у вегетативних органах кукурудзи залежно від фаз органогенезу рослин, 2012–2014 рр.**

У науковій літературі відзначено, що в більшості випадків вдається встановити пряму пропорційну залежність між вмістом ВМ у живильному субстраті та рослині. Але надходження ВМ до рослинного організму носить не схоластичний характер, а регулюється фізіологічними бар'єрами біохімічної природи. Поглинання ВМ сповільнюється під впливом механізмів бар'єрної функції кореня, таких як: реактивних центрів апопласта кореня, клітинної стінки, компартментації у вакуолях клітин, що зупиняє акропетальне переміщення шкідливих елементів [2, 3, 4, 5]. Виявлено важливу роль металопротеїнів у забезпеченні бар'єрної функції вегетативних органів [9]. Аналіз надземної вегетативної маси та коріння кукурудзи свідчить про тенденцію до збільшення вмісту протеїну за підвищення концентрації металів у органах рослин. Так, у корінні впродовж фази цвітіння коефіцієнт кореляції для свинцю становив 0,76, кадмію – 0,77, цинку – 0,79. Разом з тим, зниження урожаю та накопичення ВМ у зерні варіантів із забрудненим ґрунтом свідчить про недостатню активність фізіологічних бар'єрів у кукурудзи.

На всіх ділянках з 5–100-разовим перевищенням фону ВМ спостерігали зниження врожаю качанів кукурудзи на 0,52–1,78 т/га, порівняно з контролем, тобто, втрати урожаю становили 6–22 % (табл. 1). Це було пов'язано як із зменшенням маси 1000 зерен, так і розміру качанів.

У варіантах із забрудненням ґрунту ВМ маса 1000 зерен порівняно з природним фоном ВМ знижувалась на 14–33 г, що становило 5–12 %. У варіанті з максимальним навантаженням ВМ відмічено найбільші втрати врожаю та маси 1000 зерен, відповідно на 1,78 т/га та 33 г.

Результати статистичного аналізу показників урожайності кукурудзи свідчать про значну варіабельність маси 1-го качана в межах ділянок дослідів ( $V = 26,7\%$ ). Попри це виявлено чітку тенденцію до зниження маси качана зі збільшенням забрудненості ґрунтового фону ВМ. Втрати до контролю становили 11,4–34,2 г за  $HP_{05} = 0,40$ .

### 1. Вплив забрудненості ґрунту ВМ на врожайність та якість зерна кукурудзи гібриду Здвиж МВ (2012-2014 рр.)

Варіант дослідів (ступінь забруднення)	Урожай- ність, т/га	Маса одного качана, г	Маса 1000 зерен, г	Вміст у зерні, мг/кг		
				кадмій, Cd	свинець, Pb	цинк, Zn
1 – природний фон ВМ (контроль)	7,93	94,6	272	0,00	0,4	10,5
4–п'ятиразове перевищення природного фону ВМ	7,41	83,2	258	0,00	0,5	10,8
2 – десятиразове переви- щення природного фону ВМ	7,07	83,1	241	0,05	0,7	12,6
3 – сторазове перевищення природного фону ВМ	6,15	60,4	239	0,05	0,9	22,8
$HP_{0,5}$	0,26	0,40	13	–	–	–
ГДК: зерно продовольче зерно на корм [10]	–	–	–	0,10 0,30	0,50 5,00	50,0 50,0

Аналіз якості зерна свідчить, що підвищення забрудненості ґрунту ВМ змінювало вміст протеїну в продукції. Десятиразове і сторазове перевищення фонових показників ВМ супроводжувалось збільшенням кількості “сирого” протеїну відповідно на 0,19 і 0,16 %, порівняно з контролем (9,29 %). Виявлено позитивний зв'язок між накопиченням ВМ у зерні та кількістю протеїну за коефіцієнту кореляції для свинцю 0,95, кадмію – 0,88, цинку – 0,77.

Загалом зерно кукурудзи виявилось найбільш захищеною частиною рослинного організму в умовах забруднення агроєкотопів ВМ. Важливо відмітити, що жоден із створених у досліді агроєкотопів не спричинив забруднення зерна цинком та

кадмієм. Перевищення ГДК для продовольчого зерна за свинцем відбулось за 10 і 100-разового перевищення фону ВМ у ґрунті. Це свідчить про обмежену можливість використання у продовольчих цілях зерна кукурудзи, отриманого на фонах сірого лісового ґрунту з умістом свинцю 100–1000 мг/кг ґрунту. Попри таке, зерно кукурудзи в усіх варіантах відповідає нормативам щодо кормової сировини, а також може бути використане для технічних цілей (наприклад, виробництво біоетанолу).

**Висновки.** Кукурудза має виражену стійкість до ВМ, що дозволяє ефективно використовувати територію, забруднену свинцем, кадмієм і цинком без виведення їх із сільськогосподарського використання. Сірі лісові легкосуглинкові ґрунти Правобережного Лісостепу з концентрацією свинцю в орному шарі до 1000 мг, цинку до 500 мг, кадмію до 20 мг/кг ґрунту залишаються придатними для вирощування кукурудзи на зерно із збереженням урожайності 6,15–7,93 т/га, залежно від рівня забрудненості.

Накопичення свинцю, кадмію і цинку агроекотопами впливало на вміст протеїну і ВМ у продукції. Виявлено позитивний зв'язок між накопиченням ВМ у зерні та кількістю протеїну за коефіцієнтами кореляції для свинцю 0,95, кадмію – 0,88, цинку – 0,77.

Зважаючи на перевищення санітарно-гігієнічних нормативів умісту свинцю у продовольчому зерні кукурудзи, вирощеної за понадприродного накопичення ВМ у ґрунті, таку зернову продукцію можна використовувати лише для кормових та технічних цілей.

#### Список використаної літератури

1. *Балюк С.А.* Підсумки діяльності українського товариства Ґрунтознавців та агрохіміків у 2010–2014 рр. І актуальні завдання на перспективу / С.А. Балюк, В.В. Медведєв // Спец. випуск до ІХ з'їзду УТГА. Кн. 1. 30 червня – 4 липня 2014 року, м. Миколаїв. – Харків. – 2014. – С. 8.
2. *Детоксикація важких металів у ґрунтовій екосистемі.* Методичні рекомендації / Укладачі: Фатєєв А.І., Самохвалова В.Л. – Харків: КП «Міськдрук», 2012 – 70 с.
3. *Singh O.V.* Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil / O.V. Singh, S. Labana, G. Pandey, R. Budhiraja, R.K. Jain // *Appl Microbiol Biotechnol.* – 2003. – 61. – P. 405–412.
4. *Greger M.* Metal Availability and Bioconcentration in Plants / In: Prasad M.N.V., Hagemeyer J. eds. *Heavy metal stress in plants // from molecules to ecosystems.* Berlin: Springer, 1999. – P. 1-27.
5. *Линдман А.В.* Процессы миграции свинца и кадмия в системе «почва – растение»: дис. на соискание ученой степени кандидата химических наук: спец. 03.00.16 «Экология» / А.В. Линдман – Иваново, 2009. – 138 с.
6. *Методика суцільного ґрунтового–агрохімічного моніторингу* сільськогосподарських угідь України (Керівний нормативний документ) / Під. ред. О.О. Созінова, Б.С. Прістера. – К., 1994. – С. 52–55.
7. *Ґрунти.* Показники родючості ґрунтів: ДСТУ 4362:2004. – [Чинний від 2006-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 19 с. – (Національний стандарт України).
8. *Сырье и продукты пищевые.* Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов: ГОСТ 30178-96. – [Действует от 2002-01-01]. – К.: Госстандарт Украины, 2001. – 13 с – (Межгосударственный стандарт).
9. *Гуральчук Ж.З.* Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. – К.: Логос, 2006. – 208 с.
10. *Кукурудза.* Технічні умови: ДСТУ 4525:2006. – [Чинний від 2007–04–01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 15 с. – (Національний стандарт України).

*Стаття надійшла до редколегії 02.09.2014.*

#### PRODUCTIVITY OF GRAIN CORN DEPENDING ON ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SOIL

**S.G. Korsun, N.I. Dovbash, I.I. Klymenko**

**National Scientific Center "Institute of agriculture of the NAAS"**

2-b, Mashynobudivnykiv str., settlement. Chabany, Kyievo-Svyatoshyynskyi district, Kyiv region, 08162, Ukraine

(Nadezda\_D@ukr.net)

The determination of possibility of use of soils contaminated by heavy metals, for of field cultures growing is one of the actual tasks of modern agricultural chemistry. According to the research methodology, the works were conducted in the long-term small-plot experiment. The influence of contamination of grey forest soil by lead, cadmium and zinc on the productivity of Zdvizh MV corn on grain is studied. The field and laboratory research methods and mathematical analysis were applied. Investigation of corn fettle in the conditions of lead, cadmium and zinc soil contamination demonstrated high resistance of culture to the increase of metals content in the soil solution. However, soil polluting worsened condition of plants growth and development and represented on quantitative and qualitative characteristics of harvest. Possibility of use of products for forage and technical (production of bioethanol) goals is proved.

**Key words:** soil; corn; productivity; ecotope; heavy metals; protein.