

ЗАСТОСУВАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ І РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ РОСЛИН ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ЗЕРНІ КУКУРУДЗИ

Валерко Р.А., Сікач Т.І., Івашкіна О.Л., Алпатова О.М.

Державний університет «Житомирська Політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

ke_vra@ztu.edu.ua, kpn_vti@ztu.edu.ua, kgt_iol@ztu.edu.ua, ke_aom@ztu.edu.ua

На даний час весь світ вважає кукурудзу основною з найбільш високопродуктивних сільськогосподарських культур універсального призначення, котру вирощують як для кормового та продовольчого, так і для технічного використання. У південних областях України кукурудза займає високу питому вагу в усьому обсязі виробництва зерна. Проте суттєві зміни кліматичних умов за останні 5 років: аномально висока температура повітря, ґрунтові посухи – завдають значної шкоди та суттєвих втрат продуктивності рослин. Саме тому рівень виробництва зерна кукурудзи в даній частині України на сьогодні значно поступається її біологічно можливому потенціалу.

Останні декілька десятків років в областях з розвинутою промисловістю спостерігається накопичення рухомих форм важких металів у ґрунті, що призводить до збільшення концентрації важких металів у рослинах. Основною небезпекою збільшення концентрації важких металів у продуктах рослинного походження полягає у здатності біоконцентруватися та викликає канцерогенні та мутагенні ефекти. Важкі метали забруднюють ґрунти, змінюють агрохімічні, мікробіологічні та екологічні властивості, мають здатність мігрувати та забруднювати поверхневі та ґрунтові води.

Збільшення концентрації важких металів у навколишньому природному середовищі та ґрунті негативно впливають на біоту в цілому, оскільки рослини є найбільш чутливими її компонентами. Саме тому виникає гостра необхідність пошуку агрозаходів, котрі забезпечують зниження поглинання важких металів рослинами.

Значна кількість регуляторів росту рослин та біопрепаратів, які створені на основі живих мікроорганізмів, що мають ріст-стимулюючі властивості, антистресову та імуностимулюючу активність. При застосуванні препаратів з ріст-активуючою функцією на забруднених токсикантами ґрунтах викликає зміни у накопиченні рослинами хімічних забруднювачів. Проте використання регуляторів росту як інструменту захисту та зменшення токсичної дії забруднювачів на рослини недостатньо вивчено та потребує більш детальних досліджень з урахуванням особливостей ґрунту та відповідного регіону. Регіони що мають високий рівень техногенного навантаження на біоту проблема відповідності сільськогосподарської продукції сучасним стандартам якості є надзвичайно актуальною.

Забруднення навколишнього середовища такими токсикантами як важкі метали, викликане техногенними викидами промислових підприємств, є надзвичайно небезпечною загрозою при вирощуванні рослинної продукції, тому завдання зменшити концентрацію важких металів у врожаї сільськогосподарських культур залишається досить актуальним, особливо для регіонів з розвинутою промисловістю. *Ключові слова:* система удобрення, мідь, цинк, важкі метали, екологічна безпека, мінеральні добрива, продуктивність, врожайність, екологія.

Use of biological products and plant growth regulators to reduce the accumulation of heavy metals in corn grain. Valerko R., Sikach T., Ivashkina O., Alpatova O.

Today, the world considers corn to be one of the most productive crops for universal use, grown for both fodder and food and for technical purposes. In the southern regions of Ukraine, corn accounts for a high share of total grain production. However, significant changes in climatic conditions over the past 5 years, such as abnormally high air temperatures and soil droughts, have caused significant damage and losses in plant productivity. That is why the level of corn production in this part of Ukraine is currently far below its biologically possible potential.

Over the past few decades, in areas with developed industry, there has been an accumulation of mobile forms of heavy metals in the soil, which leads to an increase in the concentration of heavy metals in plants. The main danger of increasing concentrations of heavy metals in plant products is their ability to bioaccumulate and cause carcinogenic and mutagenic effects. Heavy metals contaminate soils, change agrochemical, microbiological and ecological properties, and have the ability to migrate and contaminate surface and groundwater.

Increasing concentrations of heavy metals in the environment and soil have a negative impact on the biota as a whole, as plants are the most sensitive components of it. That is why there is an urgent need to find agricultural measures that reduce the absorption of heavy metals by plants.

A significant number of plant growth regulators and biological products are based on living microorganisms that have growth-stimulating properties, anti-stress and immune-stimulating activity. The use of growth-activating products on toxicant-contaminated soils causes changes in the accumulation of chemical pollutants by plants. However, the use of growth regulators as a tool for protecting and reducing the toxic effects of pollutants on plants has not been sufficiently studied and requires more detailed research, taking

into account the characteristics of the soil and the region. In regions with a high level of anthropogenic load on biota, the problem of compliance of agricultural products with modern quality standards is extremely relevant.

Environmental pollution with toxicants such as heavy metals caused by industrial emissions is an extremely dangerous threat to crop production, so the task of reducing the concentration of heavy metals in crops remains quite relevant, especially for regions with developed industry. *Key words*: fertilizer system, copper, zinc, heavy metals, environmental safety, mineral fertilizers, productivity, yield, ecology.

Постановка проблеми. Основним стратегічним напрямом розвитку сільського господарства на даний час є забезпечення населення України екологічно чистими, високоякісними продуктами харчування, оскільки це безпосередньо впливає на здоров'я людей [1, с. 57]. Екологічну небезпеку продуктів харчування рослинного походження пов'язують з накопиченням хімічних токсикантів, серед яких основну небезпеку несуть важкі метали, а саме: цинк, мідь, свинець та кадмій [2, с. 314].

Останні декілька десятиліть років в областях з розвинутою промисловістю спостерігається накопичення рухомих форм важких металів у ґрунті, що призводить до збільшення концентрації важких металів у рослинах. Основною небезпекою збільшення концентрації важких металів у продуктах рослинного походження полягає у здатності біоконцентруватися та викликає канцерогенні та мутагенні ефекти. Важкі метали забруднюють ґрунти, змінюють агрохімічні, мікробіологічні та екологічні властивості, мають здатність мігрувати та забруднювати поверхневі та ґрунтові води [3, с. 352, 4, с. 41–50].

Збільшення концентрації важких металів у навколишньому природному середовищі та ґрунті негативно впливають на біоту в цілому, оскільки рослини є найбільш чутливими її компонентами. Саме тому виникає гостра необхідність пошуку агрозаходів, котрі забезпечують зниження поглинання важких металів рослинами [5, с. 33–36].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Актуальність дослідження процесів переходу важких металів з ґрунту до рослин полягає в тому, що рослини виступають проміжною ланкою міграції важких металів від ґрунту до організму людей. Коефіцієнт поглинання важких металів із ґрунту до рослин вивчали В.В. Ковальський, А. Кабата-Пендіас, А.І. Фатєєв, С.А. Балюк, М.М. Мірошніченко, Н.А. Макаренко, М.А. Глазовська, В.Б. Ільїн та ін. Проте дане питання досі залишається недостатньо вивченим, особливо в аспекті вивчення безпечності зерна, яке вирощується на ґрунтах з високим техногенним навантаженням [6, с. 1–3, 7, с. 442].

На даному етапі розвитку сільського господарства велике значення має використання агентів біологічного впливу, що передбачає використання нових екологічно безпечних та ефективних стимуляторів росту, мікробіологічних препаратів та мікродобрив, що здатні регулювати процеси життєдіяльності ґрунтової мікрофлори та рослинності [8, с. 53–56; 9, с. 262–266].

Значна кількість регуляторів росту рослин та біопрепаратів, які створені на основі живих мікро-

організмів, що мають ріст-стимулюючі властивості, антистресову та імуностимулюючу активність [10, с. 15–28]. При застосуванні препаратів з ріст-активуючою функцією на забруднених токсикантами ґрунтах викликає зміни у накопиченні рослинами хімічних забруднювачів. Проте використання регуляторів росту як інструменту захисту та зменшення токсичної дії забруднювачів на рослини недостатньо вивчено та потребує більш детальних досліджень з урахуванням особливостей ґрунту та відповідного регіону [11, с. 52–57, 12, с. 156–159]. Регіони що мають високий рівень техногенного навантаження на біоту проблема відповідності сільськогосподарської продукції сучасним стандартам якості є надзвичайно актуальною.

Мета досліджень. Проаналізувати вплив біопрепаратів та стимуляторів росту рослин на накопичення важких металів у зерні кукурудзи.

Методика досліджень. Наукові дослідження проводились на полях ТОВ «Укр-Агро РТ» Житомирської області, Бердичівського району, у 2019–2021 рр. Площа облікової ділянки – 240 м² (12 м x 20 м). Повторення дослідження – триразове, ярус – один, розміщення ділянок – систематичне.

При дослідженні ґрунту було проведено агрохімічний аналіз на вміст в орному шарі: рН – 7,01, обмінний калій – 6,12 мг/100 г ґрунту, лужногідролізований азот – 6,34 мг/100 г, рухомий фосфор – 15,67 мг/100 г ґрунту. Досліджувалась культура: кукурудза сорт Монканто (*cv Moncanto*).

При проведенні дослідження забруднення важкими металами насіння кукурудзи використовували загальноприйняті методи.

Результати досліджень та їх обговорення. Забруднення навколишнього середовища такими токсикантами як важкі метали, викликане техногенними викидами промислових підприємств, є надзвичайно небезпечною загрозою при вирощуванні рослинної продукції, тому завдання зменшити концентрацію важких металів у врожаї сільськогосподарських культур залишається досить актуальним, особливо для регіонів з розвинутою промисловістю [13, 66–72].

Для підвищення адаптаційних властивостей сільськогосподарських рослин до екологічних стресорів, а також для отримання екологічно безпечного та якісного зерна в регіонах з високим техногенним навантаженням на агроландшафти доцільно проводити дослідження вивчення комплексної дії біопрепаратів та стимуляторів росту на рослини в умовах техногенезу.

Застосування біопрепаратів для передпосівної обробки насіння кукурудзи та обприскування посі-

вів стимулятором росту рослин забезпечило покращення польової схожості, росту та розвитку рослин та підвищення продуктивності кукурудзи (табл. 1).

Найкращий урожай у проведених дослідженнях отримано за комплексного застосування біопрепаратів та позакореневою обробкою посівів стимулятором росту кукурудзи.

Додатковий урожай, порівнюючи з контролем, при застосуванні біопрепаратів становив для поліміксобактерину 0,5 т/га (7,4%), діазофіт – 0,3 т/га (4,6%). При комплексному застосуванні біопрепаратів разом зі стимуляторами росту рослин прибавка врожаю збільшилась та становила 0,7–1,1 т/га, або 10,1–15,1%. Найефективнішим було поєднання препарату діазофіт з обробкою рослин стимулятором росту айдар. Урожайність даного варіанту становила 7,3 т/га, що значно перевищило контроль на 1,1 т/га (15,1%).

Для оцінки якості рослинної продукції було проведене лабораторне дослідження вмісту важких металів у зерні кукурудзи (табл. 2).

Результати лабораторних досліджень вказують, що у всіх варіантах дослідження концентрація Zn, Cu, Pb та Cd не перевищувала ГДК. Результати досліджень свідчать, що комплексне застосування біопрепаратів та позакореневої обробки рослин кукурудзи стимуляторами росту сприяє зниженню поглинання небезпечних елементів свинцю та кадмію в зерні кукурудзи. Тому, вміст свинцю має нижчі показ-

ники, відносно контрольної ділянки на 14,71–21,4%, кадмію – на 7,4–12,66%. Це доводить доцільність даного агрозаходу під час вирощування зерна кукурудзи, та покращує показники якості відповідно до санітарно-гігієнічних вимог у регіонах з високим техногенним навантаженням.

Для дослідження кількісних параметрів міграції важких металів з ґрунту в рослини кукурудзи провели розрахунок коефіцієнтів біологічного поглинання ($K_{б.п.}$), котрі допомагають оцінити вплив технологій на процеси поглинання важких металів рослинами кукурудзи. $K_{б.п.}$ визначався за співвідношенням вмісту важких металів у рослині до його концентрації у ґрунті (табл. 3).

Попередньо аналітично вираховано вміст рухомих форм кадмію та свинцю в ґрунті дослідних ділянок, які знаходяться в зоні Полісся України. Експериментально визначено вміст потенційно рухомого свинцю ($1,8 \pm 0,18$ мг/кг) та потенційно рухомого кадмію ($0,49 \pm 0,06$ мг/кг) в ґрунті.

Найбільший позитивний ефект дало комплексне використання діазофіту та айдару. У даному варіанті концентрація свинцю в зерні кукурудзи знизилось у 1,8 рази, кадмію – в 1,4 рази. $K_{б.п.}$ на контрольному варіанті складав для Pb – 0,20, з обробкою 0,11, для Cd – 0,18 і 0,13 відповідно. Застосування вермістиму дало практично такий самий ефект.

При обробці вермістимом $K_{б.п.}$ для свинцю був на рівні 0,11, для кадмію – 0,13, концентрація свинцю

Таблиця 1

Урожайність кукурудзи сорту Монканто (cv *Moncanto*)

Варіант досліджу	Урожайність т/га	Прибавка	
		т/га	%
Контроль	6,2	-	-
Поліміксобактерин	6,7	0,5	7,4
Діазофіт	6,5	0,3	4,6
Поліміксобактерин+вермістим	6,9	0,7	10,1
Поліміксобактерин+айдар	7,0	0,8	11,4
Діазофіт +вермістим	7,1	0,9	12,7
Діазофіт +айдар	7,3	1,1	15,1
НІР _{0,5,т/га}	0,21		

Таблиця 2

Вплив біопрепаратів і стимуляторів росту рослин на вміст важких металів у зерні кукурудзи сорту Монканто (cv *Moncanto*)

Варіант досліджу	Вміст важких металів мг/кг											
	Zn			Cu			Pb			Cd		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Контроль	27,1	26,7	25,8	6,1	5,6	5,8	0,34	0,32	0,28	0,084	0,082	0,079
Поліміксобактерин	25,7	25,9	25,1	5,7	5,3	5,2	0,31	0,28	0,24	0,081	0,079	0,072
Діазофіт	25,3	25,4	24,6	5,3	5,0	4,8	0,29	0,27	0,22	0,078	0,076	0,069
НІР _{0,5}	1,0			0,65			0,05			0,007		

Вплив біопрепаратів та стимуляторів росту рослин на інтенсивність біоаккумуляції свинцю і кадмію в зерні кукурудзи сорту Монканто (*cv Moncanto*)

Варіант досліджу	Коефіцієнт біологічного поглинання					
	Pb			Cd		
	1	2	3	1	2	3
Контроль	0,20	0,16	0,15	0,18	0,15	0,16
Діазофіт	0,16	0,14	0,13	0,16	0,13	0,15
Поліміксобактерин	0,14	0,12	0,11	0,15	0,14	0,13

знизилась в 1,4 рази, кадмію – в 1,2 рази. Це можна пояснити утворенням малорухомих сполук важких металів із фосфатами і що підвищує стійкість рослин до транслокації.

Висновки. Передпосівна обробка насіння кукурудзи сорту Монканто (*cv Moncanto*) та обприскування посівів у процесі вегетації стимулятором росту забезпечує підвищення продуктивності даної культури. Додатковий урожай, порівнюючи з контролем, при застосуванні біопрепаратів становив для поліміксобактерину 0,5 т/га (7,4%), діазофіт – 0,3 т/га (4,6%). При комплексному застосуванні біопрепаратів разом зі стимуляторами росту рослин прироста врожаю збільшилась та становила 0,7–1,1 т/га, або 10,1–15,1%.

Результати досліджень свідчать, що комплексне застосування біопрепаратів та позакореневої обробки рослин кукурудзи стимуляторами росту сприяє зниженню поглинання небезпечних елементів свинцю та кадмію в зерні кукурудзи. Тому, вміст свинцю має нижчі показники, відносно контрольної ділянки на 14,71–21,4%, кадмію – на 7,4–12,66%.

Найбільший позитивний ефект дало комплексне використання діазофіту та айдару. У даному варіанті концентрація свинцю в зерні кукурудзи знизилась у 1,8 рази, кадмію – в 1,4 рази. $K_{\text{бн}}$ на контрольному варіанті складав для Pb – 0,20, з обробкою 0,11, для Cd – 0,18 і 0,13 відповідно. Застосування вермістиму дало практично такий самий ефект.

Література

1. Фатєєв Ф.І., Самохвалова В.Л. Концепція використання техногенно забруднених ґрунтів. Харків : Стильна типографія, 2018. 57 с.
2. Танчик С.П., Цюк О.А., Центило Л.В. Наукові основи систем землеробства : монографія. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 314 с.
3. Косолап М.П., Кротінов О.П. Система землеробства No-till : навчальний посібник. Київ : «Логос», 2011. 352 с.
4. Бондарь В.І., Макаренко Н.А. Вплив технологій вирощування пшениці озимої на процеси акумуляції і транслокації свинцю. *Біоресурси і природокористування*. 2019. Т. 11. № 1–2. С. 41–50. URL: <https://doi.org/10.31548/bio2019.01.005>.
5. Фатєєв А.І. Вплив систем удобрення на рухомість кадмію в темно-сірому опідзоленому ґрунті Західного Лісостепу України. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 82. С. 33–36.
6. Білик Т.І., Штика О.С., Падалка А.О. Екотоксикологічна оцінка забруднення на свинець ґрунту та рослинності біля автозаправних станцій. *Наукоємні технології*. 2009. № 3. С. 1–3.
7. Мазур В.А., Ткачук О.П., Яковець Л.А. Екологічна безпека зернової та зернобобової продукції. Вінниця: ВНАУ, 2020. 442 с.
8. Пилипець А.З., Сачко Р.Г., Лесик Я.В., Грабовська О.С. Вміст важких металів у біологічній системі доквілля-корми-тварина. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2012. № 2–3. С. 53–56.
9. Валерко Р.А. Особливості біотестування антропогенно забруднених ґрунтів з метою їх екотоксичної оцінки. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2013. № 2. С. 262–266.
10. Паламарчук В.Д., Підлубний В. Ф., Кричковський В. Ю., Коваленко О. А. Вміст крохмалю у зерні кукурудзи залежно від позакореневих підживлень. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 19. С. 15–28.
11. Вишнівський П.С., Кравчук Т.В. Вміст важких металів у фітомасі амаранту при вирощуванні в умовах Полісся України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки. Херсонський державний аграрно-економічний університет*. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 128. С. 52–57.
12. Пацева І. Г., Кагукіна А.М. Луньова О.В. Тенденції зміни клімату Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 6(51) С. 156–159.
13. Пацева І. Г., Кагукіна А.М. Адаптація до зміни клімату міста Житомир. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. Вип. 3. С. 66–72.