

---

# ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

---

УДК 633.1.631.81

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.28>

## НАДХОДЖЕННЯ ОКРЕМИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ЗЕРНО ТА СОЛОМУ ЯРОЇ ПШЕНИЦІ СОРТУ СТРУНА МИРОНІВСЬКА ПРИ ПОЗАКОРЕНЕВОМУ ЇЇ ПІДЖИВЛЕННІ ЗА УМОВ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЗЕМЕЛЬ<sup>1</sup>

Вінічук М.М., Мандро Ю.Н.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

[kgt\\_vmm@ztu.edu.ua](mailto:kgt_vmm@ztu.edu.ua), [yurii.mandro@ukr.net](mailto:yurii.mandro@ukr.net)

Приведено результати трирічного дослідження позакореневого підживлення посівів пшениці ярої сорту Струна миронівська водними розчинами цинку, марганцю та їхніми хелатованими аналогами у складі ЕДТА у різні фази росту та розвитку рослин на накопичення цих і ряду інших елементів у зерні та соломі. Встановлено, що внаслідок позакореневого підживлення посівів, зокрема у ранні фази росту та розвитку рослин (обприскування у фазі кушіння), спостерігається підвищення концентрації обох досліджуваних елементів (цинку та марганцю) на час збирання урожаю як у зерні, так і в соломі, але здебільшого таке зростання не підвищує урожайності ані зерна, ані соломи. При позакореновому підживленні посівів пшениці, особливо розчином цинку, накопичення рослинами іонів заліза, калію, марганцю, міді, цинку й особливо бору із ґрунту зростає у 1,5–2 рази як у зерні, так і в соломі порівняно з рослинами контрольного варіанту. При підживленні розчином марганцю та хелатованими аналогами у складі ЕДТА (обприскування у фазі кушіння та вихід у трубку) аналогічне зростання коефіцієнтів накопичення у зерні та соломі спостерігалось для іонів заліза, цинку, марганцю та бору. Позакоренево підживлення посівів пшениці розчинами цинку, марганцю та їхніми хелатованими формами зменшує перехід <sup>137</sup>Cs з ґрунту у зерні на 30–35%. Найвищий ефект зниження рівнів забруднення зерна пшениці радіоцезієм спостерігається при підживленні рослин розчинами цинку у першій половині вегетації – у фазу кушіння та фазу виходу у трубку. Результати дослідження показують, що зниження переходу радіонукліду із ґрунту у рослини викликано не стільки дією самих мікроелементів, як збільшенням фітомаси та відповідного зниження величини її питомої активності.

Позакоренево підживлення посівів пшениці ярої розчинами цинку, марганцю та хелатованими формами цих мікроелементів (ЕДТА) призводить до підвищення концентрації цих та інших мікроелементів у зерні та соломі, у т. чю за рахунок більш інтенсивного поглинання їх із ґрунту. Урожайність зерна та соломи зростає не суттєво, але істотно знижується перехід радіоцезію (<sup>137</sup>Cs) із ґрунту у рослини. *Ключові слова:* ґрунт, залізо, калій, марганець, мідь, пшениця, радіоцезій, цинк.

### **Translocation of some of the microelements within grain and straw of spring wheat of the Struna Mironovs'ka variety after foliar fertilization on soils contaminated by radionuclides. Vinichuk M., Mandro Y.**

The aim of our study was to investigate the effect of aqueous solutions of zinc and manganese salts and their chelated forms as foliar fertilization of spring wheat on the uptake and distribution of some trace elements in grain and straw. The effect of foliar fertilization on grain and straw yield as well as radiocaesium uptake from soil to plant was investigated.

It is found that foliar fertilization of wheat in the early stages of growth and development of plants (spraying of micronutrients in the tillering phase) causes an increase in the concentration of both studied elements determined at harvest time in both grain and straw. However, for the most part, such increase in microelements concentration in grain and straw does not affect the yield, neither grain nor straw. It is shown that during foliar fertilization of wheat with zinc solution, the uptake of such ions as iron, potassium, manganese, copper, zinc and especially boron by grain and straw from the soil increases by factor 1.5-2 compared to control (unfertilized) plants. When wheat plants were fertilized with manganese solution, as well as chelated analogues in the form of EDTA (spraying in the tillering and stem extension), a similar increase in uptake of iron, zinc, manganese and boron ions was observed. Foliar fertilization of wheat plants with solutions of zinc, manganese and their chelated forms reduces the uptake of <sup>137</sup>Cs from soil to grain by 30–35%. The highest effect of wheat grain contamination is achieved when plants were fertilized plants with an aqueous solution of zinc in the first half of the growing season – the tillering and stem extension stage. It is suggested that the decrease in the uptake of the radionuclide from the soil to the plants is caused not by the fertilization with microelements themselves, but by an increase in plant's phytomass and a corresponding decrease its specific activity.

The impact of foliar fertilization with zinc (ZnSO<sub>4</sub>), manganese (MnSO<sub>4</sub>) as well as their chelated analogues in the form of EDTA on uptake of selected elements as well as <sup>137</sup>Cs uptake by grain and straw of spring wheat was evaluated. Application of Zn and Mn reduced <sup>137</sup>Cs uptake by wheat grain and straw, when fertilized at earlier stages of growth and development. The foliar fertilization with micronutrients may be applied as one of agricultural countermeasure with the aim of reducing <sup>137</sup>Cs uptake by plants growing on soils contaminated by radionuclides. *Key words:* soil, iron, potassium, manganese, copper, wheat, radiocaesium, zinc.

---

<sup>1</sup> Автори вдячні А.Л. Вигівському за сприяння та допомогу у проведенні польових досліджень. Цей проект було профінансовано Шведським управлінням із радіаційної безпеки № 0113U004157.

**Постановка проблеми.** Ефективність позакореневого підживлення посівів пшениці залежить від низки чинників, а саме ґрунтово-кліматичних умов, рівня родючості ґрунту та забезпечення його доступними формами мікроелементів, погодних умов конкретного року та ін. Ґрунти Полісся характеризуються невисоким вміст мікроелементів, тому позакоренево підживлення рослин за цих умов може бути ефективним прийомом, хоча результати подібних досліджень у літературі майже відсутні.

**Актуальність дослідження.** Значна частина території Українського Полісся все ще перебуває в зоні радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС [4]. Найбільші площі угідь, забруднених радіоцезієм, поширені саме в Житомирській області, переважно Народицький, Овруцький, частково Лугинський, Коростенський та Олевський райони – близько половини від загальної території та половини орних земель. Вплив позакореневого підживлення мікроелементами посівів сільськогосподарських культур на цих землях практично не досліджувався.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Оскільки, як свідчить аналіз літературних джерел, думки авторів щодо термінів проведення позакореневого підживлення посівів суттєво відрізняються, обприскування проводили у різні фази росту та розвитку пшениці. Наша робоча гіпотеза полягала у тому, що позакоренево підживлення рослин у складі ЕДТА у ранні фази росту та розвитку є більш ефективним (I), підживлення досліджуваними розчинами призведе до прояву синергічних або антогоністичних взаємодій з іншими елементами (II). Вибір культури дослідження зумовлений важливістю пшениці як продовольчої культури, а також тим, що цей сорт рекомендується для вирощування у зонах Полісся та Лісостепу України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наявність чи відсутність мікроелементів, зокрема есенціальних, таких як, наприклад, цинк (Zn), марганець (Mn), залізо (Fe) або мідь (Cu), суттєво впливають на ростові процеси у рослин, їхній розвиток, а також можуть викликати різні біогеохімічні ендемічні захворювання. Позакоренево підживлення посівів пшениці розчином цинку призводить до істотного підвищення концентрації цього елемента у зерні, особливо при обприскуванні посівів під час більш пізніх стадій росту та розвитку рослин [1], сприяє зростанню числа продуктивних стебел і врожайності. Цинкові добрива позитивно впливають на продуктивну кущистість, озерненість колоса і масу 1 000 зерен [7], а при нормі внесення цинку 10 кг/га – на такі показники, як площа листової поверхні пшениці та швидкість росту рослин [17]. Цинк і марганець окремо, а також у поєднанні з міддю збільшують урожайність рису понад рівень NPK на 15, 11 і 10% відповідно [10]. Позакоренево підживлення

посівів пшениці на піщаних ґрунтах розчинами заліза, марганцю та цинку значно збільшує урожай зерна, урожай соломи, масу 1 000 зерен, кількість зерен у колосі, а також вміст білка в зерні.

Хоча рухливість цинку у тканинах рослин не є високою, при позакоренево його застосуванні він порівняно легко поглинається епідермісом листка і транспортується по флоємі до зерна, що формується [2], тому позакоренево підживлення пшениці розчином цинку з метою підвищення рівня урожайності та якості зерна є більш ефективним порівняно з внесенням мікродобрива у ґрунт, а внесення мікроелементів у хелатній формі у складі комплексних мікродобрив є ще більш доцільним [11], зокрема на карбонатному ґрунті [14]. Використання Zn за посушливих умов півдня України також сприяє розвитку стійкості рослин пшениці озимої до температурного стресу [12].

Крім підвищення рівня урожайності сільськогосподарських культур і поліпшення якості продукції, мікроелементи при використанні їх на забруднених радіонуклідами землях також можуть набувати інших властивостей, а саме впливати на перехід радіонуклідів із ґрунту у рослини. Для регіонів Полісся це особливо актуально, оскільки ґрунти у цій зоні переважно бідні за вмістом як основних макроелементів, так і мікроелементів, серед яких як цинк, так і марганець.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Використання солей цинку і марганцю, як у вигляді комплексонатів, так і у водних розчинах на землях Полісся знижує перехід радіонуклідів у вегетативній масі люпину на 37%, а ріпаку – на 58% [9]. Мета нашої роботи – дослідити дію водних розчинів солей цинку і марганцю та їх хелатованих форм як позакореневого підживлення посівів ярої пшениці на надходження і розподіл цих мікроелементів у зерні та солomé, а також величину урожаю та перехід радіоцезію з ґрунту у рослину.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Результати нашої наукової роботи мають на меті пошук шляхів зменшення переходу радіоцезію з ґрунту у рослини пшениці ярої при вирощуванні їх на землях, забруднених радіонуклідами.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження виконувалися протягом трьох років (2014–2016 рр.) на землях, забруднених радіонуклідами, на території селища Базар Житомирської області (51°03'19"N; 29°17'54"E). Площа дослідної ділянки  $\approx 400 \text{ м}^2$ . Тип ґрунту – дерново-підзолистий, сильно-глейовий, супіщаний на водно-льодовикових відкладеннях, із низьким вмістом найбільш біологічно важливих мікроелементів.

Для позакореневого підживлення використовували як водні розчини цинку та марганцю, так і їхні хелатовані аналоги – етилендіамінтетраоцтову (ЕДТА) кислоту із вмістом 25 та 20% цинку

та марганцю відповідно. Сірчаноокислий цинк ( $ZnSO_4$ ) та сульфат марганцю ( $MnSO_4$ ) розчиняли у воді з розрахунку 200 г Zn на 80 л води та 300 г Mn на 80 л води на 1 га відповідно. Концентрація обох розчинів становила 0,05% [6]. ЕДТА (хелат) використовували за рекомендацією виробника: кількість внесених добрив відповідала 0,5–1,0 л розчину, розчиненого у 80 л води на 1 га. Рослини обприскували чотири рази протягом вегетаційного періоду: кущіння (1), вихід у трубку (2), колосіння (3), утворення зерен (4).

Варіанти досліду: 1 – контроль; 2 – розчин сульфату цинку ( $ZnSO_4$ ); 3 – розчин сульфату марганцю ( $MnSO_4$ ); 4 – ЕДТА (хелат). Культура – пшениця яра (*Triticum aestivum* L.) сорт Струна миронівська, селекції Миронівського Інституту НААН України. Повторність досліду – чотирикратна.

На рис. 1 приведені рівні врожайності зерна пшениці та вміст досліджуваних мікроелементів у ньому після збирання урожаю залежно від фаз росту та розвитку рослин, під час яких проводилося позакореневе підживлення рослин за даними 2014 р. Так, у зерні пшениці при підживленні рослин розчином цинку вміст останнього порівняно із вмістом цинку у зерні рослин контрольного варіанту зріс на 7,4; 7,6; 7,1 та 5,2 мг  $kg^{-1}$  або на 28,8; 29,3; 27,5 та 20,2% відповідно у фази кущіння, вихід у трубку, колосіння й утворення зерен. Між тим, як видно з рисунку, таке помітне підвищення вмісту цинку у зерні не призвело до підвищення урожайності зерна. Відомо, що підживлення рослин розчином цинку не завжди призводить до підвищення рівня їхньої продуктивності. Так, у дослідах із кукурудзою [13] позакореневе підживлення посівів розчином цинку не призводило до збільшення урожаю, навіть при значному підвищенні концентрації Zn у зерні.

При позакореновому підживленні посівів пшениці марганцем концентрація цинку у зерні досліджуваних варіантів також зростала на 12,9 та 4,4 мг  $kg^{-1}$  або 49,8 та 17,2% при обприскуванні рослин у фазі кущіння та вихід у трубку відповідно. При обприскуванні рослин розчином марганцю у більш пізні фази – колосіння й утворення зерен – концентрація цинку у зерні на час збирання урожаю навпаки, виявилася на 19,3 та 5,5% нижчою, ніж у зерні рослин контрольного варіанту. Як видно з рис. 1, будь-який зв'язок між показниками урожайності зерна пшениці та вмістом у ньому цинку на час збирання урожаю відсутній.

Така ж закономірність спостерігалася і при обприскуванні посівів пшениці розчинами цинку та марганцю у складі ЕДТА (25 та 20% відповідно). Як видно з рис. 1, вміст у зерні обох мікроелементів на час збирання урожаю ніяк не впливає величину урожаю зерна. Так, у зерні пшениці на час збирання урожаю вміст як цинку, так і марганцю на 5,9 та 17,9 мг  $kg^{-1}$  перевищував контрольні значення у варіанті з позакореновим підживленням рослин у фазу кущіння, тоді як рівень урожайності варіанті виявився нижчим контролю (рис. 1).

Концентрації цинку у соломі на час збирання урожаю перевищували контрольні значення на 4,1; 4,4; 1,8 та 5,7 мг  $kg^{-1}$  (59,7; 62,9; 26,6 та 81,9%) при обприскуванні посівів пшениці розчином цинку у фазу кущіння. Підживлення посівів марганцем збільшує вміст цинку у соломі на 9,8 та 6,9 мг  $kg^{-1}$  тільки у разі обприскування рослин у фазу кущіння та виходу у трубку.

Використання хелатованих форм досліджуваних мікроелементів збільшують вміст як цинку, так і марганцю (на 5,8 та 38,6 мг  $kg^{-1}$ ) лише при обприскуванні посівів у фазу кущіння. Здебільшого величина урожайності соломі не залежить від концентрації у ній обох елементів на час збирання урожаю.

Вміст калію у зерні пшениці дослідних варіантів на час збирання урожаю у середньому на 10% вищий за контрольний при підживленні рослин розчином цинку у фазу кущіння, вихід у трубку та колосіння. Підживлення посівів розчином цинку, марганцю та комплексним добривом у фазі утворення зерен не впливає на концентрацію калію у зерні.

Аналогічні закономірності також спостерігалися у соломі. Так, при обприскуванні посівів розчином цинку концентрація калію зростає на 27,6 та 18,3% (підживлення у фазу вихід у трубку й утворення зерен), при обприскуванні розчином марганцю на 33,8 та 56,1% (підживлення у фазу колосіння й утворення зерен), при обприскуванні ЕДТА на 42,2, 22,9 та 30,5% (підживлення у фазу вихід у трубку, колосіння й утворення зерен).

Концентрація заліза у зерні пшениці на час збирання урожаю зростає на 9,6 мг  $kg^{-1}$  (59,2%); 7,4 мг  $kg^{-1}$  (45,4%); 2,8 мг  $kg^{-1}$  (16,9%) та 2,3 мг  $kg^{-1}$  (14,1%) при підживленні рослин розчином цинку відповідно у фази кущіння, вихід у трубку, колосіння й утворення зерен.

Підживлення розчином марганцю викликає статистично значиме підвищення концентрації заліза у зерні (4,0 мг  $kg^{-1}$  або 24,5%) лише при обприскуванні у фазу вихід у трубку. Обприскування розчином марганцю в інші фази не впливає на надходження цього елемента у зерно пшениці.

При позакореновому підживленні комплексним добривом (ЕДТА) концентрація заліза у зерні також зростає лише при обприскуванні посівів у фазу кущіння на 4,5 мг  $kg^{-1}$  (27,5%).

Концентрація міді у зерні пшениці зростає на 0,8–0,9 мг  $kg^{-1}$  (17,0–20,7%) при удобренні посівів розчином цинку у всі фази росту та розвитку. При позакореновому підживленні посівів розчином марганцю (фаза кущіння та вихід у трубку) вміст цинку у зерні збільшується на 0,7–1,3 мг  $kg^{-1}$  (16,0–30,0%). Обприскування у фазу колосіння й утворення зерен не впливає на вміст міді у зерні пшениці. При обприскуванні хелатними формами цинку та марганцю (ЕДТА) статистично значиме зростання концентрації міді у зерні (1,5 мг  $kg^{-1}$  або 33,6%) спостерігається лише у разі підживлення посівів у фазу кущіння.

Концентрація міді у соломі пшениці суттєво зростає (0,1–1,1 мг кг<sup>-1</sup> або 7,4–70,5%) при обприскуванні посівів розчином цинку у всі досліджувані фази росту та розвитку рослин. Підживлення розчином марганцю підвищує вміст міді у соломі (0,2–0,6 мг кг<sup>-1</sup> або 14,6–38,3%) у разі обприскування у фазу кушіння, вихід у трубку та колосіння. При використанні комплексного мікродобрива статистично значиме зростання концентрації міді у соломі пшениці (1,5 мг кг<sup>-1</sup> або 55,4%) спостерігається лише при підживленні рослин у фазу кушіння.

При підживленні посівів пшениці розчином цинку концентрація бору у зерні зростає на порядок і більше (0,12 мг кг<sup>-1</sup> на контролі та 0,40–2,77 мг кг<sup>-1</sup> у дослідних варіантах). Найвища концентрація бору у зерні спостерігалася при обприскуванні посівів розчином цинку у фазу кушіння й утворення зерен.

При обприскуванні розчином марганцю концентрація бору у зерні пшениці дослідних варіантів також суттєво зростає – від 0,12 мг кг<sup>-1</sup> на контролі до 0,45–1,82 мг кг<sup>-1</sup> у дослідних варіантах. Найбільше зростання вмісту бору у зерні спостерігалася при підживленні посівів у фазу кушіння, вихід у трубку та колосіння.

Хелатні форми досліджуваних мікроелементів також забезпечували істотне зростання концентрації бору у зерні (0,12 мг кг<sup>-1</sup> на контролі та 0,97

і 2,64 мг кг<sup>-1</sup>) при обприскуванні посівів у фазу виходу у трубку та колосіння відповідно.

У соломі концентрація бору зростала 3,59 мг кг<sup>-1</sup> на контролі до 24,5 мг кг<sup>-1</sup> при обприскуванні розчином цинку у фазу виходу у трубку та до 10,4 мг кг<sup>-1</sup> при підживленні хелатними формами у фазу кушіння. Позакореневе підживлення розчином марганцю не підвищувало вміст бору у соломі.

При позакореновому підживленні посівів пшениці розчином цинку та марганцю коефіцієнти накопичення заліза, калію, марганцю, міді, цинку та бору для зерна зазвичай зростають. Позакореневе удобрення мікроелементами особливо сприяє накопиченню бору у зерні пшениці. Так, при підживленні рослин пшениці розчинами цинку та марганцю спостерігається десятикратне збільшення вмісту бору у зерні порівняно з контрольним варіантом.

При обприскуванні рослин пшениці розчином цинку у фазі кушіння та колосіння КН заліза, калію, марганцю, міді та цинку для зерна підвищуються у 1,5–2 рази, а при обприскуванні розчином марганцю у фазі кушіння, вихід у трубку та колосіння – у 1,5 рази. При підживленні цинком і марганцем у складі ЕДТА коефіцієнти накопичення марганцю для зерна зростали у 1,5–2,5 рази, якщо рослини обприскувалися у фазі кушіння та колосіння.

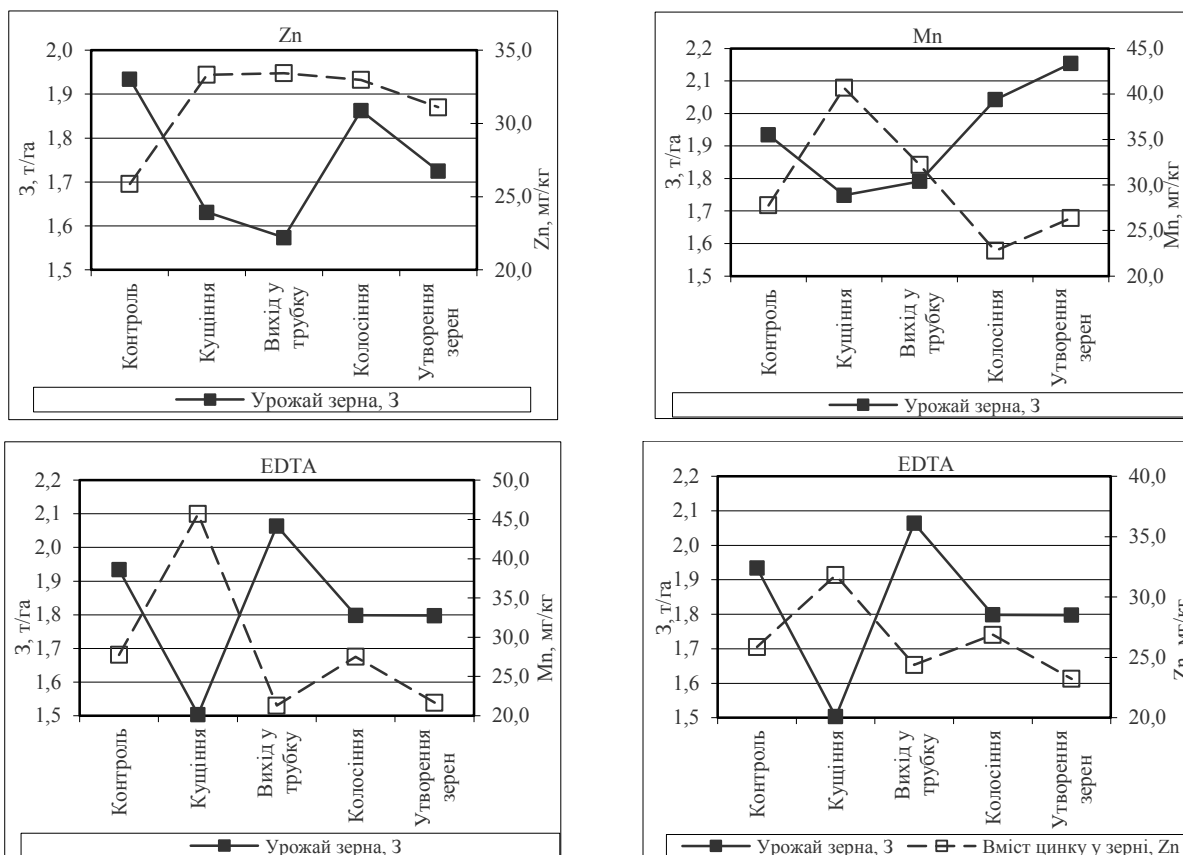


Рис. 1. Урожайність зерна та вміст у ньому мікроелементів при обприскуванні посівів у різні фази росту та розвитку, 2014 р.

Коефіцієнти накопичення заліза, калію, марганцю, міді, цинку та бору для соломи зазвичай також зростають. Так, при обприскуванні розчином цинку у фазі кушіння накопичення всіх перерахованих елементів у соломі пшениці зростало у 1,5–2 рази порівняно з контрольним варіантом. Аналогічне зростання коефіцієнтів накопичення всіх елементів (крім калію) соломою спостерігалось при обприскуванні цинком у фазу утворення зерна. При підживленні цинком у фазу виходу у трубку та колосіння помітно зростало надходження з ґрунту у солому лише іонів цинку та марганцю.

Позакореневе удобрення посівів розчином марганцю сприяє накопиченню у соломі заліза, марганцю та цинку: зростання у 2–4 рази при обприскуванні у фазі кушіння та виходу у трубку. При підживленні рослин пшениці розчинами марганцю у фазу утворення зерна у 1,5 рази інтенсивніше накопичувалися у соломі залізо, калій і мідь. Двократне зростання коефіцієнтів накопичення заліза та цинку у соломі пшениці спостерігалось при підживленні цинком і марганцем у складі ЕДТА у фазі кушіння. КН для марганцю при використанні ЕДТА у цій фазі перевищували контрольні значення у приблизно

6 разів. Підвищені КН бору у соломі пшениці спостерігалися при підживленні цинком ( $\approx$  у 7 разів при обприскуванні у фазу виходу у трубку й у 1,5 рази у фазі утворення зерна), та цинком і марганцем у складі ЕДТА (у 1,5 рази при обприскуванні у фазу кушіння та виходу у трубку).

Усереднені дані трьох років досліджень показують, що позакореневе підживлення посівів пшениці розчинами цинку, марганцю та їхніх хелатованих форм у фазу кушіння збільшує урожайність зерна на  $\approx$  14% порівняно з контролем, хоча така відмінність не є статистично значущою. При позакореновому підживленні розчином марганцю урожайність зерна також дещо зростає при обприскуванні у фазу виходу у трубку та колосіння, хоча не статистично достовірно. За умов 2014 р. незначне зростання урожайності зерна пшениці спостерігалось при позакореновому підживленні комплексним добривом (ЕДТА) у фазі виходу у трубку та підживленні розчином марганцю у фазі утворення зерен. Порівняно невисокий урожай 2015 р., ймовірно, спричинений засушливими умовами під час вегетації. Так, на фоні високих середньодобових температур протягом місяця (друга та третя декади травня та перша декада

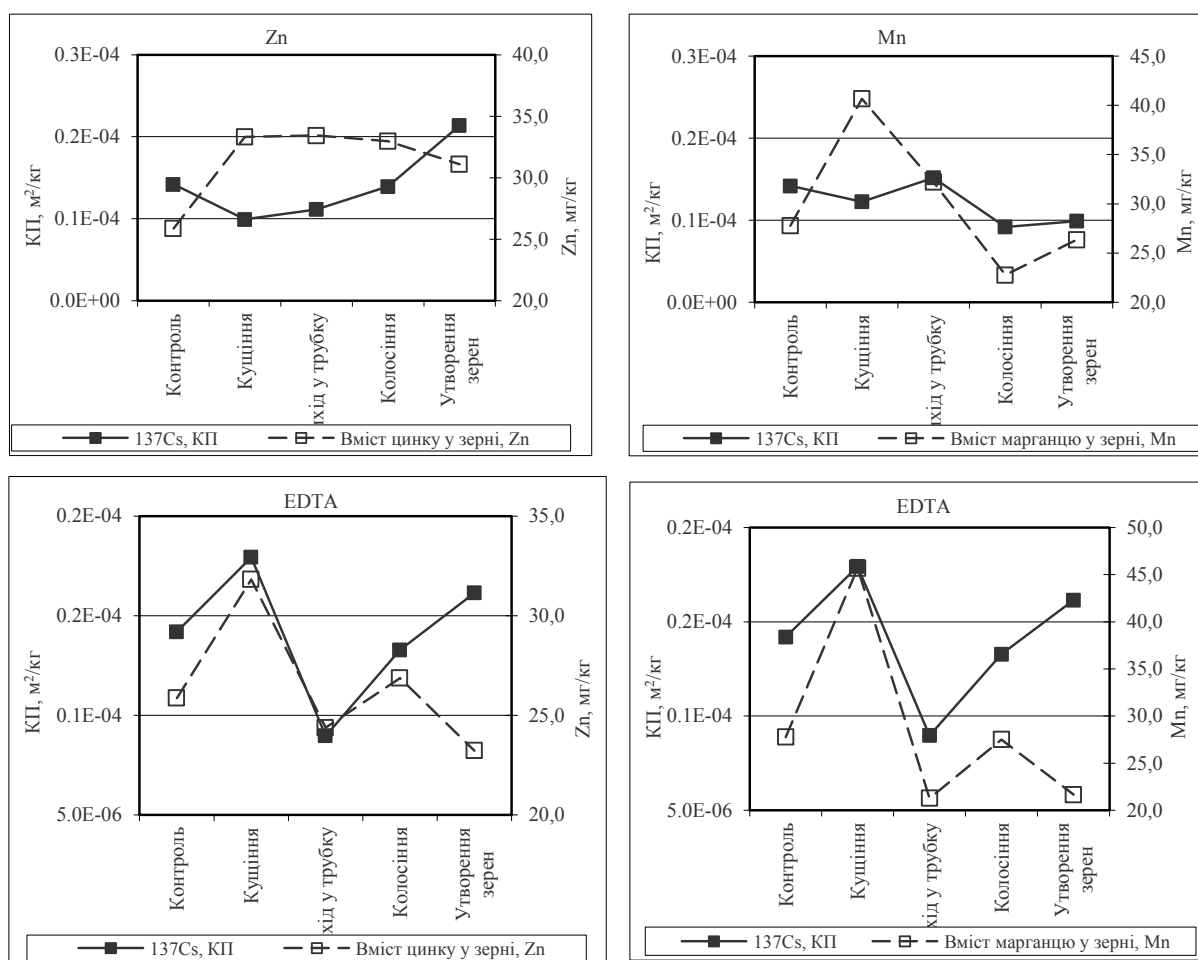


Рис. 2. Коефіцієнти переходу (КП)  $^{137}\text{Cs}$  з ґрунту у зерно та вміст у ньому мікроелементів при обприскуванні посівів у різні фази росту та розвитку, 2014 р.

червня) випало всього 12 мм опадів, а протягом другої та третьої декади червня – лише 19 мм за багаторічної середньомісячної норми 53 та 81 мм відповідно у травні та червні. За умов засушливого 2015 р. показники урожайності як зерна, так і соломи, рослин підживлюваних розчинами цинку та марганцю у всі досліджувані фази росту і розвитку були в середньому на 20–25% вищими порівняно з контрольним варіантом. У разі використання комплексного добрива позитивний ефект удобрення спостерігався лише при позакореновому підживленні у фазу кушіння та виходу у трубку, тоді як підживлення у більш пізні фази росту та розвитку рослин виявилось не ефективним. Таким чином, підживлення посівів пшениці за засушливих умов 2015 р. у ранніх фазах – кушіння та виходу у трубку – ефективніше, ніж підживлення у більш пізні фази колосіння й утворення зерен. У 2016 р. жодний із досліджуваних варіантів із погляду приросту урожаю як зерна, так і соломи пшениці виявився неефективним. Більше того, у більшості випадків, особливо при обприскуванні рослин розчином цинку та марганцю, рослини пшениці контрольного варіанту, навпаки, виявилися більш урожайними, ніж ті, що підживлювалися.

На рис. 2 показано величини коефіцієнтів переходу  $^{137}\text{Cs}$  з ґрунту у зерно рослин пшениці, а також вміст у них мікроелементів при обприскуванні посівів у різні фази росту та розвитку за 2014 р. Як видно з рисунків, між величинами коефіцієнтів переходу радіонуклідів з ґрунту у зерно та солому і концентрацією у них цинку та марганцю залежності немає. Так, у окремих випадках, наприклад, при обприскуванні рослин розчином цинку концентрація цього елемента у зерні (рис. 2) зростає, а коефіцієнти переходу радіонуклідів для зерна та соломи знижуються. При обприскуванні посівів пшениці розчином цинку у складі ЕДТА така закономірність відсутня. Те саме спостерігається і при обприскуванні посівів пшениці як водним розчином марганцю, так і марганцем у складі ЕДТА (рис. 2).

Водночас підживлення посівів пшениці у різні фази її росту та розвитку знижує перехід радіоцезію із ґрунту у рослини (табл. 1). Причина зниження,

очевидно, є комплексною. З одного боку, як зазначалося вище, позакоренове підживлення сприяє накопиченню як у зерні, так і в соломі інших мікроелементів. Як наслідок, зростає фітомаса рослин, а отже, знижується питома активність радіонуклідів з розрахунку на одиницю маси зерна чи соломи.

Так, у середньому за 2014–2016 рр. досліджень величини коефіцієнтів переходу радіонуклідів у зерно пшениці дослідних варіантів виявилися нижчими за величини коефіцієнтів переходу радіоцезію у зерно контрольного варіанту на 37,3% у варіанті з цинком, на 32,4% у варіанті з марганцем і на 38,9% у варіанті з хелатованими мікроелементами (табл. 1). Найвищий ефект зниження рівнів забруднення зерна пшениці радіоцезієм спостерігається при підживленні рослин розчинами цинку у першій половині вегетації – фазі кушіння та фазі виходу у трубку.

При обприскуванні посівів розчином марганцю кращі результати спостерігались у разі позакоренового підживлення рослин у фазі кушіння й утворення зерен. У варіанті з хелатованими мікроелементами однаково добрі результати зниження величин коефіцієнтів переходу радіонуклідів для зерна спостерігалися при підживленні у фазі кушіння, виходу у трубку, а також колосіння. Позакоренове підживлення ярої пшениці досліджуваними мікроелементами призводило і до певного зниження вмісту радіонуклідів в соломі, хоча ефективність цього прийому стосовно соломи виявилася дещо нижчою. Так, варіанті з цинком питома активність соломи виявилася навіть вищою контролю (6,8%), у варіанті з марганцем – нижчою контролю на 9,5%, а у варіанті з ЕДТА – нижчою контролю на 35,3%. Кращі результати отримані при підживленні ярої пшениці марганцем у фазі кушіння, а при підживленні хелатованими мікроелементами – у фазі кушіння, виходу у трубку а також колосіння.

Результати дослідів показують, що при позакореновому підживленні рослин пшениці розчинами цинку та марганцю статистично достовірно зростає концентрація у зерні цинку, марганцю, заліза, міді й особливо бору. Особливо помітне зростання вмісту цих елементів, від 20 до 60%, спостерігалось при обприскуванні посівів у ранні фази росту та роз-

Таблиця 1

Коефіцієнти переходу  $^{137}\text{Cs}$  (КП) для зерна та соломи,  $M \pm SD$ ,  $\times 10^{-4} \text{ м}^2/\text{кг с.в.}$  (2014–2016)

Варіант	Фази росту та розвитку на час обприскування *			
	кушіння	вихід у трубку	колосіння	утворення зерен
Контроль	$1,30 \pm 0,46$ $4,03 \pm 2,67$	$1,30 \pm 0,46$ $4,03 \pm 2,67$	$1,30 \pm 0,46$ $4,03 \pm 2,67$	$1,30 \pm 0,46$ $4,03 \pm 2,67$
Zn	$0,73 \pm 0,50$ $3,21 \pm 2,06$	$0,90 \pm 0,60$ $3,87 \pm 1,96$	$1,07 \pm 0,65$ $2,60 \pm 1,56$	$1,22 \pm 0,86$ $3,56 \pm 2,85$
Mn	$0,90 \pm 0,62$ $2,93 \pm 1,51$	$1,16 \pm 0,77$ $3,57 \pm 2,17$	$1,09 \pm 0,60$ $3,41 \pm 2,29$	$0,76 \pm 0,50$ $3,04 \pm 1,67$
ЕДТА	$0,95 \pm 0,96$ $2,61 \pm 1,88$	$0,80 \pm 0,43$ $1,48 \pm 1,12$	$0,88 \pm 0,60$ $2,34 \pm 1,45$	$1,20 \pm 0,77$ $2,55 \pm 1,59$

\* У чисельнику – зерно, у знаменнику – солома.

витку, а саме кушіння та виходу у трубку. При обприскуванні у більш пізні фази – колосіння й утворення зерен – вміст згаданих елементів у зерні, крім бору, зазвичай не перевищує їх концентрації у зерні рослин контрольного варіанту або таке зростання є не статистично значимим. Близькі результати були отримані у подібних дослідях з озимою пшеницею [18].

Підживлення рослин пшениці розчинами цинку та марганцю також сприяє статистично достовірному збільшенню концентрації, особливо марганцю, калію, міді та заліза у соломі. Концентрація, наприклад, калію внаслідок позакореневого удобрення зростає у варіантах із обприскуванням посівів у більш пізні фази росту та розвитку – кушіння та виходу у трубку.

Отримані результати також дозволяють стверджувати, що позитивний ефект позакореневого підживлення рослин, насамперед розчином цинку, ймовірно, спричинений стресовими умовами, викликаними майже повною відсутністю атмосферних опадів на фоні високих середньодобових температур. Такі висновки підтверджуються результатами інших авторів. Прояв захисної ролі хелату цинку у рослин пшениці за дії стресових чинників середовища, зокрема до високих температур, спостерігали у ряді робіт [11; 12]. Вважається, що роль Zn у зменшенні стресового навантаження у рослин пшениці, викликаного високою температурою, полягає насамперед у покращенні фотосинтетичної активності рослин [8].

Наші дані також показують, що підвищення концентрації як цинку, так і марганцю, а також інших мікро- та макроелементів на час збирання урожаю як у зерні, так і в соломі у більшості випадків не підвищує урожайності ані зерна, ані соломи. Водночас статистично значимий вплив позакореневого підживлення посівів пшениці розчинами цинку та марганцю на величину урожайності зерна та соломи спостерігався лише за умов посушливого 2015 р., коли урожайність удобрюваних рослин пшениці виявилася в середньому на 20–25% вищою, ніж урожайність рослин на контролі без удобрення.

Такі висновки також добре узгоджуються з даними літературних джерел. Як показано у роботі Ma D et al. [15], приріст урожаю зерна пшениці та концентрація Zn у зерні внаслідок внесення цинку у ґрунт

у формі розчину  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  зростає у міру підсилення посухи. Ймовірно, це стосується і марганцю (а також заліза), прискорену транслокацію яких до пагонів спостерігали у пшениці для подолання негативного впливу температурного стресу [3].

Оскільки як марганець, так і цинк повільно рухаються у тканинах рослин [16], позакореневе підживлення посівів у першій половині вегетації може бути більш ефективним, ніж у другій, що також підтверджується нашими даними, адже при позакореневому внесенні добрив у формі водних розчинів, перш ніж елементи живлення зможуть бути засвоєні та використані у процесі метаболізму, речовина повинна спочатку проникнути через восковий шар (кутикулу), яка товстіша на верхній стороні листа, та через стінку клітини.

Відомо, що поглинання бору рослинами залежить від наявності інших елементів живлення у ґрунті, зокрема кальцію [5]. Такий ефект викликається насамперед співвідношенням кальцію до бору у тканинах рослин. Між тим, дані, що підтверджують вплив позакореневого підживлення посівів пшениці розчином цинку та марганцю на величину надходження бору із ґрунту у рослини, відсутні.

**Головні висновки.** Результати досліджень підтвердили нашу гіпотезу про те, що позакореневе підживлення посівів пшениці ярої на дерново-середньопідзолистих глеуватих супіщаних ґрунтах Полісся розчинами цинку, марганцю та хелатованими формами цих мікроелементів (ЕДТА) призводить до підвищення концентрації цих та інших мікроелементів у зерні та соломі, у т. ч. за рахунок більш інтенсивного поглинання їх із ґрунту, особливо це стосується бору. Урожайність зерна та соломи зростає не суттєво, але істотно знижується перехід радіоцезію ( $^{137}Cs$ ) із ґрунту у рослини.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Подальших досліджень потребують питання ролі мікроелементів у процесах переходу радіонуклідів із ґрунту у рослини при вирощуванні їх на землях, які зазнали радіоактивного забруднення. Також заслуговує на увагу подальше з'ясування ролі мікроелементів, зокрема цинку, у формуванні урожаю за засушливих умов, що є актуальним з огляду на зміни клімату та дедалі частіші прояви посилення посушливості.

### Література

1. Cakmak I., Kalayci M., Kaya Y. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2010. Vol. 58. P. 9092–9102.
2. Curie C., Cassin G., Couch D. Metal movement within the plant: Contribution of nicotianamine and yellow stripe 1-like transporters. *Annals of Botany*. 2009. Vol. 103. P. 1–11.
3. Dias A. S., Lidon F.C., Ramalho J. Heat stress in *Triticum*: kinetics of Fe and Mn accumulation. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 2009. Vol. 21 (2). P. 153–164.
4. Добряк Д.С., Кузін Н.В. Наукові основи використання земель в умовах радіаційного забруднення. *Збалансоване природо-користування*. 2018. № 2. С. 6–12.
5. Eck P., Campbell, F.J. Effect of high calcium application on boron tolerance of carnation, *Dianthus caryophyllus*. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 1962. Vol. 81. P. 510–517.
6. Ekelöf J, Råberg T. Vegetable industry's influence on the yield and quality of potatoes. *Area Agriculture – Farming Systems, Technology and Product Quality*, SLU, Alnarp. 2001. 99 p.

7. Гоман Н.В., Попова В.И., Бобренко И.А. Влияние микроудобрений на структуру урожая озимой пшеницы. Вестник КрасГАУ. 2016. № 1. С. 114–117.
8. Graham R.D., Rengel Z. Genotypic variation in Zn uptake and utilization by plants. In: Robson, A.D. (Ed.), *Zinc in Soils and Plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. 1993. P. 107–114.
9. Gudkov I, Lazarev N, Grusha V et al. The role of trace elements in radiation protection of plants and animals on radionuclide contaminated territories of Poles'e. *Radiats Biol Radioecol*, 2011. № 51 (1). P. 33–40.
10. Gurmani A.H., Shahani B.H., Khan D.I. Effect of micronutrients (Zn, Cu, Fe, Mu) on the rice yield and soil/plant concentration. *Sarhad Journal of Agriculture*. 1988. Vol. 4 (4). P. 515–520.
11. Кривенко А.І., Бурикiна С. І. Пигментна система фотосинтетичного апарату пшениці озимі за дії мікроелементу цинк. *Таврійський науковий вісник*. 2015. 102. С. 58–67.
12. Кривенко А.І., Бурикiна С.І. Ефективність форм і строків внесення цинку на посівах пшениці озимі. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 2 (791). С. 23–30.
13. Lamb, A., Nelson, N.O. Corn Response to Foliar-Applied Zinc Fertilizers. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports. 2015. Vol. 1 (3).
14. Логiнова І.В., Білера Н.М. Ефективність різних форм і способів внесення мікроелементів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Агронiмiя*. 2014. Вип. 195 (1). С. 71–78. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau\\_agr\\_2014\\_195%281%29\\_\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_agr_2014_195%281%29__13).
15. Ma D., Sun D., Wang Ch. Physiological responses and yield of wheat plants in Zinc-mediated alleviation of drought stress. *Front Plant Science*. 2017. Vol. 8. P. 1–12.
16. Mahler R.L. General Overview of Nutrition for Field and Container Crops. *SDA Forest Service Proceedings RMRS-P-33*. 2004. P. 26–29.
17. Nadim M.A., Awan I.U., Baloch M.S. Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to different micronutrients and their application methods. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 2012. Vol. 22 (1). P. 113–119.
18. Stepien A, Wojtkowiak K. Effect of foliar application of Cu, Zn, and Mn on yield and quality indicators of winter wheat grain. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2015 № 76 (2). P. 221–227.