

АГРОБІОЛОГІЯ

Збірник наукових праць

№ 2 (174) 2022

УДК 631/635(062.552):378.4(477.41) БНАУ
А 26

Агробіологія = Agrobiology: збірник наукових праць. № 2 (174) 2022. Білоцерківський національний аграрний університет. Біла Церква: БНАУ, 2022. 167 с. DOI 10.33245

Засновник, редакція, видавець і виготовлювач:
Білоцерківський національний аграрний університет (БНАУ)

Збірник розглянуто і затверджено до друку рішенням Вченої ради БНАУ
(Протокол № 11 від 27.12.2022 р.)

«Агробіологія» («Agrobiology») – збірник наукових праць є фаховим виданням, який включено до Переліку наукових фахових видань України категорії «Б» (Наказ Міністерства освіти і науки України № 1643 від 28.12.2019 р.), і є продовженням «Вісника Білоцерківського державного аграрного університету», започаткованого 1992 року. Збірник представлено на порталі Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського, включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar, Crossref.

Редакційна колегія:

Головний редактор – **Карпук Л.М.**, д-р с.-г. наук, проф., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Заступник головного редактора – **Єзерковська Л.В.**, канд. с.-г. наук, доц., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Члени редакційної колегії:

Базіль П., гол. інженер, Французька асоціація географічної інформації (AFIGEO), Сен-Манде, Франція

Белік П., д-р габіл., проф., Словацький сільськогосподарський університет, Нітра, Словацька Республіка

Вахній С.П., д-р с.-г. наук, проф., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Грабовський М.Б., д-р с.-г. наук, проф., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Демидась Г.І., д-р с.-г. наук, проф., Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

Заячук В.Я., канд. с.-г. наук, доцент, Національний лісотехнічний університет України, Львів, Україна

Іщук Г.П., канд. с.-г. наук, доцент, Уманський національний університет садівництва, Умань, Україна

Іщук Л.П., д-р біол. наук, проф., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Лавров В.В., д-р с.-г. наук, проф., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Литвиненко М.А., д-р с.-г. наук, проф., академік НААН, Селекційно-генетичний інститут Національного центру насінництва та сортовивчення, Одеса, Україна

Лобачова С.В., ст. викладач, Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Марченко А.Б., д-р с.-г. наук, доц., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Примак І.Д., д-р с.-г. наук, проф., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Рубік Х., д-р філософії, доц., Чеський університет природничих наук, Прага, Чехія

Сич З.Д., д-р с.-г. наук, проф., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Ткаченко Н., д-р філософії, Університет Варвіка, Ковентрі, Великобританія

Фуцило Я.Д., д-р с.-г. наук, проф., Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, Київ, Україна

Хахула В.С., канд. с.-г. наук, доц., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Хрик В.М., канд. с.-г. наук, доц., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Шмідке К., д-р наук, проф., Науково-дослідницький інститут органічного землеробства, Фрік, Швейцарія

Юхновський В.Ю., д-р с.-г. наук, проф., Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

Editorial board:

Editor-in-Chief – **Karpuk L.**, D.Sc., Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine Deputy
Editor-in-Chief – **Ezerkovska L.**, PhD, Assistant Professor, Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine

Members of editorial board:

Bazile P., Chief Engineer, French Association for Geographic Information (AFIGEO), Saint-Mandé, France

Bielik P., Dr habil., Professor, Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovak Republic

Demydas' G., Dr of Agriculture Science, Professor, National University of Life and Environmental Sciences, Kyiv, Ukraine

Fuchylo Ya., Dr of Agriculture Science, Professor, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAN, Kyiv, Ukraine

Grabovskyi M., Dr of Agriculture Science, Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Ishchuk H., Candidate of agricultural Science, Associate Professor, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Ishchuk L., Dr of Biological Science, Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Khakhula V., Candidate of Agricultural Science, Associate Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Khryk V., Candidate of Agricultural Science, Associate Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Lavrov V., Dr of Agriculture Science, Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Lobachova S., Senior Lecturer, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Lytvynenko M., Dr of Agriculture Science, Professor, Academician of NAAS, Breeding and Genetic Institute of the National Center for Seed Science and Variety Research, Odessa, Ukraine

Marchenko A., Dr of Agriculture Science, Associate Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Prymak I., Dr of Agriculture Science, Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Roubík H., PhD, Associate Professor, Czech University of Life Sciences, Prague, Czech Republic

Schmidtke K., Dr., Professor, Research Institute of Organic Agriculture, Frick, Switzerland

Sych Z., Dr of Agriculture Science, Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Tkachenko N., PhD, University of Warwick, Coventry, United Kingdom

Vakhniy S., Dr of Agriculture Science, Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Yukhnovskyi V., Dr of Agriculture Science, Professor, National University of Life and Environmental Sciences, Kyiv, Ukraine

Zayachuk V., Candidate of agricultural Science, Associate Professor, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

Адреса редакції: Білоцерківський національний аграрний університет, Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, 09117, Україна, e-mail: redakciaviddil@ukr.net.

ЗМІСТ

Фурманець М.Г., Фурманець Ю.С., Фурманець І.Ю. Щільність будови темно-сірого опідзоленого ґрунту за різних систем обробітку під культурами сівозміння.....	6
Романчук Л.Д., Вишнівський П.С., Можарівська І.А. Концентрація важких металів у фітомасі енергетичних культур при вирощуванні в умовах Житомирського Полісся.....	13
Данюк Ю.С., Балагура О.В. Наростання вегетативної маси верби залежно від сортових особливостей та періоду заготівлі садивного матеріалу.....	19
Давиденко С.Ю. Урожайність зерна гібридів сорго різних груп стиглості за впливу норми висіву насіння та ширини міжрядь у Північному Степу України.....	27
Вінічук М.М. Ефективність позакореневого підживлення ярої пшениці сорту Струна миронівська сполуками цинку та марганцю в умовах Полісся України.....	37
Хіврич О.Б., Ганженко О.М., Атаманюк О.М., Сенчук С.М., Клименко В.П. Вплив строків збирання енергетичних буряків цукрових в зоні Лісостепу України на вихід біогазу.....	48
Лозінський М.В., Устинова Г.Л., Федорук Ю.В. Вплив генотипу і умов року на трансгресивну мінливість за довжиною стебла у популяції другого покоління пшениці м'якої озимої.....	56
Говенько Р.В. Вплив технологічних прийомів вирощування на формування елементів структури врожаю гібридів кукурудзи.....	68
Разанов С.Ф., Вдовенко С.А., Коминар М.Ф., Недашківський В.М., Качмар Н.В. Вплив мінерального удобрення ґрунтів на інтенсивність накопичення радіоцезію та важких металів у квітковому пилку соняшнику.....	79
Правдива Л.А., Атаманюк О.М., Яланський О.В. Формування біометричних показників сорго звичайного двокольорового (<i>Sorghum bicolor</i> L.) в умовах Правобережного Лісостепу України.....	87
Глеваський В.І., Городецький О.С., Куянов В.В. Роль генетичних і біологічних особливостей рослин у формуванні врожаю буряків цукрових при різних строках сівби.....	96
Миколайко І.І. Оцінка потенціалу побічної продукції гірчиці для удобрення.....	106
Кратюк О.Л. Дослідження видового різноманіття рослин лісів ДП «Радомишльське ЛМГ».....	112
Романчук Л.Д., Діденко П.В. Санітарний стан соснових насаджень Полісся Житомирщини.....	120
Лось Р.М., Дубовик Н.С. Дослідження сучасних сортів пшениці озимої за урожайністю залежно від умов вирощування.....	128
Марченко А.Б. Екологічні аспекти прояву інвазійного виду <i>Cydalima perspectalis</i> (Walker, 1859) в урбанізованих екосистемах.....	138
Марченко А.Б., Роговський С.В., Олешко О.Г., Струтинська Ю.В. Дендрофлора ботанічного саду бнау та перспективи її збагачення у зв'язку із розвитком території як об'єкта природно-заповідного фонду.....	147
Єщенко В.О., Коваль Г.В., Накльока Ю.І. Плюси і мінуси no-till технології.....	156

УДК 633.1.631.81

Ефективність позакореневого підживлення ярої пшениці сорту Струна миронівська сполуками цинку та мангану в умовах Полісся України

Вінічук М.М. 

Державний університет “Житомирська політехніка”

✉ kgt_vmm@ztu.edu.ua



Вінічук М.М. Ефективність позакореневого підживлення ярої пшениці сорту Струна миронівська сполуками цинку та мангану в умовах Полісся України. Збірник наукових праць «Агробіологія», 2022, № 2. С. 37–47.

Vinichuk M. Efficiency of foliar fertilization of spring wheat variety of String myronivska by zinc and manganese in Polissia of Ukraine. «Agrobiology», 2022, no. 2, pp. 37–47.

Рукопис отримано: 01.08.2022 р.
Прийнято: 15.08.2022 р.
Затверджено до друку: 27.12.2022 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2022-174-2-37-47

Наведено результати трирічного дослідження ефективності позакореневого підживлення посівів ярої пшениці сорту Струна миронівська водними розчинами цинку, мангану та їх хелатованими аналогами у складі ЕДТА (комплексонати цинку та мангану) у різні фази росту та розвитку рослин. Дослідження проводили на дерново-середньопідзолистих глеюватих супіщаних ґрунтах Полісся, забруднених радіонуклідами після аварії на Чорнобильській АЕС.

В середньому за 2014–2016 рр. дослідження підвищення урожайності зерна і соломи ярої пшениці внаслідок позакореневого підживлення посівів у різні фази росту та розвитку рослин не встановлено. Водночас, статистично значущий ефект від підживлення спостерігався у посушливих умовах 2015 року, зумовлених майже повною відсутністю атмосферних опадів протягом другої та третьої декад травня та першої декади червня на тлі високих середньодобових температур (ГТК Селянінова < 0,4). Позакореневе підживлення посівів розчином цинку та хелатними формами мікроелементів (ЕДТА) в умовах посухи сприяло підвищенню урожайності зерна пшениці на понад 30 % порівняно з контролем. Позакореневе підживлення рослин розчином мангану підвищувало урожайність зерна в умовах посухи щонайменше на 30 % незалежно від фази росту та розвитку рослин на час обприскування. Аналогічні закономірності спостерігались для соломи. За сприятливих погодних умов (2014 та 2016 рр.) позакореневе підживлення не приводило до підвищення урожайності пшениці. Також показано, що за зростання урожайності зерна пшениці внаслідок позакореневого підживлення посівів водними розчинами цинку, мангану та їх хелатованими аналогами у складі ЕДТА концентрація у ньому феруму, мангану, купруму та цинку знижується. Зростання рівня урожайності соломи негативно корелює з концентрацією у ній цинку та бору ($r = -0,57$).

Ключові слова: ґрунт, ферум, калій, пшениця, манган, купрум, радіоцезій, цинк.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Для нормального росту та розвитку рослині необхідні як макро-, так і мікроелементи. Останні, хоча і використовуються рослиною у малих кількостях, є не менш важливими ніж макроелементи. За надходження у рослину в досить малих концентраціях важливим є не стільки їх абсолютні кількості, скільки належне поєднання, тобто баланс як у ґрунті, так і відповідно у рослині [1]. Серед мікроелементів, необхідних для рослин, найбільш важливими є такі як бор (В), хлор (Сl), купрум (Сu), ферум (Fe), манган (Mn), кобальт (Co), молібден (Mo), нікель (Ni) та цинк (Zn).

Манган є важливим мікроелементом для метаболізму рослин, оскільки бере участь в активації різних ферментних систем, у процесах метаболізму та асиміляції нітрогену, у процесі фотосинтезу, переміщенні речовин по органах рослин, рості коренів тощо. Цей елемент поглинається рослинами як Mn^{2+} і швидко переміщується здебільшого до меристематичних (твірних) тканин, тому підвищені концентрації цього елемента спостерігаються здебільшого у молодих тканинах рослин [2]. За позакореневого підживлення посівів пшениці під час вирощування її на піщаних ґрунтах розчинами феруму, мангану та цинку підвищується урожайність

як зерна, так і соломи, зростає маса 1000 зерен, кількість зерен у колосі, а також вміст білка в зерні [3]. Для передпосівної обробки насіння пшениці озимої розчинами сірчано-кислого мангану оптимальними для росту рослин вважаються розчини сульфату мангану 0,01 та 0,001 % концентрації [4].

Цинк входить до складу багатьох органічних комплексів, є активатор низки ферментативних реакцій, зокрема синтезу білка і бере участь у формуванні насіння. Цей елемент поглинається переважно як Zn^{2+} і його концентрація зазвичай є вищою в коренях, ніж у пагонах [5]. За позакореневого підживлення посівів пшениці концентрація цинку у зерні помітно зростає [6, 7], особливо за обприскування посівів на більш пізніх стадіях росту та розвитку рослин [8]. За позакореневого підживлення рослин пшениці цим елементом, він порівняно легко поглинається епідермісом листка і транспортується по флоемі до зерна що формується [9]. За підживлення посівів пшениці цинком зростає кількість продуктивних стебел рослин, їх урожайність [10], продуктивна куцистість, озерненість колоса і маса 1000 зерен [11]. За норми внесення цинку з розрахунку 10 кг/га зростає площа листової поверхні пшениці та прискорюється швидкість росту рослин [12].

Позакореневе підживлення посівів пшениці розчином цинку з метою підвищення рівня урожайності та якості зерна виявилось більш ефективним порівняно з внесенням мікродобрива у ґрунт [13]. Водночас більш доцільним вважається використання мікроелементів у складі комплексних мікродобрив у хелатній формі [14], зокрема на карбонатному ґрунті [15]. Підживлення пшениці озимої сполуками цинку в посушливих умовах півдня України також сприяє розвитку стійкості рослин до негативної дії високих температур [16]. У дослідях з рисом [17] показано, що цинк та манган окремо, а також у поєднанні з купрумом збільшують урожайність цієї культури понад рівень НРК на 15, 11 і 10 % відповідно.

Біологічна доступність обох мікроелементів зростає із зниженням показника рН ґрунту і за значень рН нижче 6,5 доступність, нап-

риклад цинку, здебільшого залежить від його концентрації у ґрунті [18].

Вплив мікроелементів на ріст та продуктивність рослин є особливо важливим у ґрунтах з дефіцитом цих елементів. Окремі мікроелементи можуть як стимулювати надходження макроелементів у рослину, так і перешкоджати цьому процесу. Синергічні та антагоністичні взаємодії спостерігаються зокрема між кальцієм, калієм та фосфором з однієї сторони, та між ферумом, манганом, цинком, купрумом, молібденом та бором з іншої [19, 20, 21].

Ефективність внесення мінеральних добрив, зокрема мікродобрив, залежить від типу ґрунту, рівня його родючості, культури попередника у сівозміні, сорту, погодних умов конкретного року та багатьох інших причин. Ґрунти зони Полісся, особливо дерново-підзолисті ґрунти Житомирського Полісся, характеризуються порівняно низьким вмістом мікроелементів, особливо цинку. Крім того, значна частина території, зокрема Житомирського Полісся, наразі віднесена до зони радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС [22]. Ефективність позакореневого підживлення мікроелементами сільськогосподарських культур на цих землях, зокрема пшениці ярої, не вивчали. Значення мікроелементів на землях забруднених радіонуклідами є важливим, оскільки вони можуть впливати на перехід останніх з ґрунту у рослини. Як показано у окремих роботах [23, 24], використання солей цинку і мангану, як у вигляді комплексонатів, так і у водних розчинах знижує перехід радіоцезію у вегетативну масу люпину на 37 %, а ріпаку – на 58 %.

Важливою характеристикою є також рухливість мікроелементів всередині рослини, що визначає ріст рослин в умовах обмеженої доступності поживних речовин. Це варто враховувати у випадку запровадження технологій, що передбачають зменшення надходження радіонуклідів у рослини, зокрема вапнування або застосування підвищених норм фосфорних добрив. Адже такі заходи можуть призвести до зв'язування багатьох мікроелементів у ґрунті, знижуючи здатність останніх до поглинання рослинами [25]. То-

му додаткове внесення мікроелементів на таких землях може бути доцільним.

Мета дослідження – з'ясувати ефективність позакореневого підживлення пшениці ярої сорту Струна миронівська сполуками цинку та мангану в умовах Полісся України. Досліджено дію водних розчинів солей цинку і мангану та їх хелатованих форм на величину урожайності зерна і соломи пшениці та встановлено залежності між концентрацією окремих мікроелементів у зерні й соломі, їх урожайністю та величинами переходу радіонуклідів цезію-137 у

зерно і солому. Обприскування посівів пшениці проводили у різні фази росту та розвитку рослин.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження виконували протягом 2014–2016 рр. на землях забруднених радіонуклідами, на території селища Базар Житомирської області (51°03'19" N 29°17'54" E). Площа дослідної ділянки близько 400 м². Тип ґрунту – дерново-підзолистий, сільноглейовий, супіщаний на водно-льодовикових відкладеннях, з низьким вмістом найбільш біологічно важливих мікроелементів (табл. 1).

Таблиця 1 – Концентрація окремих макро- та мікроелементів у ґрунті дослідної ділянки, М±SD, n = 6

мг/100 г ґрунту с.в.									
К		Р		Na		Ca		Mg	
AL*	HCl*	AL	HCl	AL	HCl	AL	HCl	AL	HCl
6,4±1,3	34,2±3,5	4,3±0,71	33,4±3,9	0,11±0,08	1,7±0,87	75,3±13,0	126,6±22,7	4,0±0,91	41,1±5,5

Примітка: * AL – легкодоступні форми; HCl – кислоторозчинні (загальна кількість).

Вміст обмінного калію та рухомого фосфору у ґрунті є низьким, а значення рН ґрунту (6,3) знаходиться у межах, придатних для культури.

Обприскування посівів пшениці проводили водними розчинами сірчанокислого цинку (ZnSO₄), сульфату мангану (MnSO₄), а також їх хелатованими аналогами – комплексонатами металів, розчинами етилендіамінтетраоцтової (ЕДТА) кислоти з вмістом цинку та мангану відповідно 25 і 20 %.

Сірчанокислий цинк та сульфат мангану розчиняли у воді з розрахунку 200 г ZnSO₄ на 80 л води та 300 г MnSO₄ на 80 л води на 1 га відповідно, що забезпечувало концентрацію 0,05 %. ЕДТА використовували за рекомендацією виробника: 0,5–1,0 л розчи-

ну, розчиненого у 80 л води на 1 га. Рослини обприскували за допомогою ручного помпового розпилювача об'ємом 2 л під тиском. Мінеральні добрива у досліді не використовували. 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 (ZnSO₄); 3 – розчин сульфату мангану (MnSO₄); 4 – ЕДТА (хелат, комплексон). Культура – пшениця яра (*Triticum aestivum* L.), сорт Струна миронівська, селекції Миронівського Інституту НААН України. Повторність досліду – чотирикратна.

Погодні умови за період досліджень по метеостанції Овруч представлені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Температура та опади за період 2014–2016 рр. по метеостанції м. Овруч

Показник	Квітень			Травень			Червень			Липень		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
2014												
Температура, °C	6,3	8,9	13,8	11,3	15,8	19,7	19,4	15,8	15,4	18,4	21,5	22,2
Опади, мм	13,6	8,6	0,3	30,2	70	15	38,5	13	10,7	85,5	37,9	–
ГТК Селянінова	–	–	0,02	2,67	4,43	0,76	1,98	0,82	0,69	4,65	1,76	–

Продовження табл. 2

2015												
Температура, °C	3,8	7,9	12,0	12,1	13,0	17,7	19,6	19,2	18,5	21,4	17,7	20,2
Опади, мм	7	21	7	29	9	3	–	18	0,6	12	11	12
ГТК Селянінова	–	–	0,58	2,40	0,69	0,17	–	0,94	0,03	0,56	0,62	0,59
2016												
Температура, °C	11,3	11,9	9,3	14,4	12,4	17,4	16,1	18,9	23,8	19,3	21,6	21,7
Опади, мм	16	21	8	9	55	26	3	24	0	3	37	38
ГТК Селянінова	1,42	1,76	–	0,63	4,44	1,49	0,19	1,27	0,00	0,16	1,71	1,75

Зразки зерна, соломи та ґрунту аналізували на вміст феруму (Fe), калію (K), мангану (Mn), купрум (Cu), цинку (Zn) та бору (B), мг/кг сухої ваги (с.в.) маспектрометричним методом (ICP, Optima 7300 DV). Зразки рослин та ґрунту також аналізували на вміст ^{137}Cs з використанням детектора NaI. Коефіцієнт біологічного накопичення (КН) вираховували як відношення вмісту елемента в зерні та солоні пшениці (мг/кг) до його вмісту в ґрунті (мг/кг). Коефіцієнти переходу ^{137}Cs (КП, $\text{м}^2/\text{кг}$): відношення активності концентрації радіонукліду в зерні та солоні пшениці (Бк/кг) до щільності забруднення ґрунту (Бк/м²).

Результати дослідження та обговорення. У таблицях 3 та 4 наведені рівні врожайності зерна і соломи пшениці на час збирання урожаю залежно від фаз росту та розвитку рослин, під час яких проводили їх позакореневе підживлення. Як видно з даних таблиці 3, статистично значуще зростання урожайності зерна у середньому за 3 роки досліджень не спостерігалось за обприскування посівів усіма досліджуваними розчинами мікроелементів. Водночас, спостерігався певний приріст урожайності зерна пшениці у разі використання мікроелементів за окремими роками дослідів, що, ймовірно, пояснюється погодними умовами.

Таблиця 3 – Урожайність зерна пшениці (2014–2016 рр.), $\text{M} \pm \text{SD}$, т/га

Варіант	Фази росту та розвитку на час обприскування*			
	кущіння	вихід у трубку	колосіння	утворення зерен
	2014			
Контроль	1,93±0,26	1,93±0,26 ^a	1,93±0,26 ^a	1,93±0,26 ^a
Zn	1,63±0,26	1,57±0,22	1,86±0,24	1,73±0,31
Mn	1,75±0,10	1,79±0,29	2,04±0,19 ^b	2,15±0,18 ^b
EDTA	1,50±0,13	2,06±0,31 ^b	1,80±0,16	1,80±0,35
2015				
Контроль	0,89±0,28 ^a	0,89±0,28 ^a	0,89±0,28 ^a	0,89±0,28 ^a
Zn	1,14±0,04 ^b	1,15±0,22 ^b	1,13±0,40 ^b	1,37±0,91 ^b
Mn	1,26±0,17 ^b	1,21±0,47 ^b	1,25±0,44 ^b	1,20±0,47 ^b
EDTA	1,34±0,21 ^b	1,21±0,32 ^b	0,83±0,00	0,82±0,41
2016				
Контроль	0,96±0,18	0,96±0,18	0,96±0,18	0,96±0,18
Zn	0,69±0,44	0,76±0,21	0,72±0,27	0,63±0,19

Продовження табл. 3

Mn	0,97±0,16	0,52±0,38	0,54±0,17	0,62±0,14
EDTA	0,80±0,21	0,55±0,17	1,00±0,17	0,61±0,07
2014–2016				
Контроль	1,26±0,54	1,26±0,54	1,26±0,54	1,26±0,54
Zn	1,16±0,48	1,16±0,40	1,24±0,57	1,24±0,70
Mn	1,33±0,36	1,17±0,65	1,28±0,69	1,32±0,71
EDTA	1,22±0,36	1,28±0,69	1,21±0,48	1,07±0,61

Примітка: * числа з різними літерами індексів є статистично значущими ($p < 0,05$).

Як видно з таблиці 2, погодні умови у роки проведення досліджень значно відрізнялись, як за значеннями температури, так і за кількістю опадів. У 2015 році погодні умови були особливо несприятливими для росту та розвитку рослин, зокрема внаслідок тривалого посушливого періоду. Зокрема, якщо у 2014 та 2016 роках у період з початку травня до кінця липня випало 300 та 195 мм опадів відповідно, у 2015 році за той же період їх випало лише 95 мм. Особливо посушливими у цьому році були друга та третя декади травня, а також перша декада червня: за цей період на тлі високих середньомісячних температур випало всього 11 мм опадів. Показники гідротермічного коефіцієнта (ГТК) Селянінова протягом другої половини травня та першої червня ($< 0,4$) характеризують такий стан погоди як дуже сильна посуха (табл. 2).

Як видно з даних таблиці 3, негативний вплив таких посушливих умов поєднувався з високою ефективністю позакореневого підживлення посівів пшениці. Зокрема, у 2014 році статистично значущий приріст урожайності зерна пшениці забезпечувало обприскування посівів розчином EDTA у фазу вихід у трубку та розчином мангану у фазу колосіння та утворення зерен. В обох випадках приріст урожайності зерна пшениці становив близько 7 % або 0,1–0,2 т/га порівняно з контрольним варіантом.

У посушливому 2015 році значущий ефект від позакореневого підживлення посівів пшениці спостерігався майже на всіх досліджуваних варіантах. Зокрема, обприскування посівів пшениці розчином цинку у фазу кушіння, вихід у трубку та колосіння забезпечувало приріст урожайності зерна у

середньому на 0,25 т/га (близько 28 %). Обприскування посівів у фазу утворення зерен підвищувало рівень урожайності зерна на 0,48 т/га або 53 % порівняно з контролем. Позакоренево підживлення розчином мангану також забезпечувало приріст урожайності зерна пшениці незалежно від фази росту та розвитку рослин на момент удобрення. Зокрема, урожайність зерна на дослідних ділянках виявилась у середньому на 0,34 т/га, або близько 35 % вищою контрольних значень. Хелатні форми мікроелементів (EDTA) підвищували урожайність зерна на 0,45 т/га (близько 50 %) за обприскування посівів у фазу кушіння та на 0,32 т/га (близько 36 %) за удобрення посівів у фазу вихід у трубку (табл. 3).

У 2016 році приросту урожайності зерна пшениці на дослідних варіантах не спостерігалось. Більше того, рівень урожайності на окремих удобрюваних ділянках виявився значно нижчим, ніж на контрольних ділянках без удобрення (табл. 3). В результаті, в середньому за 3 роки досліджень ефект від позакореневого підживлення посівів пшениці ярої мікроелементами цинку та мангану відсутній.

Аналогічні дані були отримані щодо рівнів урожайності соломи пшениці. За результатами 2014 року, статистично значущі відмінності у рівнях урожайності соломи спостерігались лише за обприскування посівів розчином мангану у фазу утворення зерен – 0,18 т/га. Для інших варіантів дослідження статистично значущі відмінності рівнів урожайності соломи не виявлено.

У 2015 році ефект від позакореневого підживлення посівів розчином цинку спос-

терігався за обприскування їх у фазу колосіння – 0,25 т/га. Позакореневе підживлення посівів розчином мангану забезпечувало приріст урожайності соломи за обприскування посівів у фазу кущіння, вихід у трубку та колосіння на 0,31; 0,52; 0,50 т/га відповідно. Хелатні форми мікроелементів

підвищували урожайність соломи за обприскування посівів у фазу кущіння і вихід у трубку на 0,58 т/га (близько 35 %) та 0,24 т/га (близько 14 %) (табл. 4). Використання хелатних форм мікроелементів у другій половині вегетації не приводило до приросту урожайності соломи.

Таблиця 4 – Урожайність соломи пшениці (2014–2016 рр.), $M \pm SD$, т/га

Варіант	Фази росту та розвитку на час обприскування*			
	кущіння	вихід у трубку	колосіння	утворення зерен
	2014			
Контроль	1,84±0,31	1,84±0,31	1,84±0,31	1,84±0,31 ^a
Zn	1,88±0,21	1,58±0,25	1,75±0,09	1,77±0,26
Mn	1,81±0,10	1,62±0,14	1,89±0,12	2,02±0,14 ^b
EDTA	1,59±0,26	1,95±0,25	1,91±0,09	1,69±0,22
	2015			
Контроль	1,66±0,31 ^a	1,66±0,31 ^a	1,66±0,31 ^a	1,66±0,31 ^a
Zn	1,78±0,33	1,98±0,69	1,91±0,59 ^b	2,34±0,72 ^b
Mn	1,97±0,51 ^b	2,18±0,62 ^b	2,16±0,39 ^b	1,25±0,46
EDTA	2,24±0,13 ^b	1,90±0,44 ^b	1,67±0,29	1,64±0,57
	2016			
Контроль	1,78±0,13 ^a	1,78±0,13	1,78±0,13	1,78±0,13
Zn	1,58±0,25	1,69±0,23	1,48±0,23	1,41±0,29
Mn	2,13±0,31 ^b	1,39±0,37	1,47±0,27	1,41±0,28
EDTA	1,55±0,37	1,41±0,30	1,47±0,10	1,38±0,13
	2014–2016			
Контроль	1,76±0,25 ^a	1,76±0,25	1,76±0,25 ^a	1,76±0,25
Zn	1,74±0,27	1,65±0,40	1,71±0,38	1,84±0,59
Mn	1,97±0,34 ^b	1,76±0,52	1,84±0,39 ^b	1,59±0,44
EDTA	1,79±0,41	1,75±0,40	1,68±0,25	1,57±0,35

Примітка: * числа з різними літерами індексів є статистично значущими ($p < 0,05$).

У 2016 році статистично значущого приросту урожайності соломи пшениці на дослідних варіантах не спостерігалось, за винятком варіанта з позакореневим підживленням посівів розчином мангану у фазу кущіння (табл. 4). Як і у випадку із зерном, урожайність соломи на окремих удобрюваних ділянках виявилася помітно нижчою, ніж на контрольних ділянках без удобрення (табл. 4). В результаті, в середньому за 3 роки досліджень позакореневе підживлення посівів пшениці ярої мікроелементами цинку та мангану не вплинуло на вихід соломи з одиниці площі, за винятком варіанта з позакореневим підживленням посівів розчином мангану у фазах кущіння та колосіння.

Отже, результати трирічних досліджень ефективності позакореневого підживлення

посівів пшениці ярої водними розчинами цинку та мангану на дерново-підзолистому, сильнogleйовому супіщаному ґрунті показують, що статистично значуще підвищення урожайності зерна та соломи спостерігалось лише в умовах посушливого 2015 року. В умовах сприятливих для росту та розвитку рослин 2014 та 2016 років позакореневе підживлення пшениці мікроелементами не приводило до підвищення урожайності зерна та соломи, а в окремих випадках, навпаки, рівні продуктивності рослин були вищими на варіантах без удобрення.

Значний позитивний ефект позакореневого підживлення рослин пшениці розчинами цинку та мангану на рівень урожайності як зерна так і соломи пшениці ярої спостерігався в стресових умовах, зумов-

лених майже повною відсутністю атмосферних опадів на тлі високих середньодобових температур. Підвищення стійкості пшениці озимої до посухи за підживлення хелатом цинку до високих температур висвітлено у низці робіт, зокрема в посушливих умовах півдня України [14, 16]. Вважається, що значення Zn у зниженні стресового навантаження у рослин пшениці, зумовленого високою температурою, полягає насамперед у покращенні фотосинтетичної активності рослин [26]. Варто зауважити, що приріст урожайності зерна пшениці та концентрація Zn у зерні в результаті вне-

сення цинку у ґрунт у формі розчину $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ зростає у міру підсилення посухи [27]. Наші дані показують, що це ж стосується мангану і феруму, прискорену транслокацію яких до пагонів спостерігали у пшениці для подолання негативного впливу температурного стресу [28].

Були встановлені залежності між величинами переходу цезію-137 з ґрунту у зерно та соломі пшениці (КП) та коефіцієнтами накопичення (КН) відповідно зерном та соломі окремих мікроелементів з ґрунту (табл. 5).

Таблиця 5 – Коефіцієнти кореляції між величинами переходу ^{137}Cs з ґрунту у зерно і соломі пшениці (КП) та коефіцієнтами накопичення (КН) мікроелементів зерном та соломі з ґрунту (в середньому по досліді, 2014 р.), $n = 13$

^{137}Cs , КП ($m^2 kg^{-1}$) : КН ($mg kg^{-1}$) у продукції/ $mg kg^{-1}$ у ґрунті)	Fe	K	Mn	Cu	Zn	B
Зерно	-0,02	0,06	0,19	0,01	0,01	-0,16
Солома	0,33	-0,05	-0,03	0,50	-0,16	-0,53

Як видно з наведених даних, між величинами переходу радіонукліду з ґрунту у зерно і соломі пшениці та величинами переходу мікроелементів з ґрунту відповідно у зерно та соломі пшениці зв'язок відсутній, за винятком купруму (зв'язок середній позитивний) та бору (зв'язок середній негативний). Отже, надходження мікроелемен-

тів з ґрунту у зерно та соломі пшениці, ймовірно, не залежить від величини надходження у них радіонукліду.

У таблиці 6 наведено коефіцієнти кореляції між величиною активності концентрації цезію-137 у зерні й соломі пшениці (А) та концентрацією у них окремих макро- і мікроелементів (С).

Таблиця 6 – Коефіцієнти кореляції між величиною активності концентрації ^{137}Cs у зерні і соломі пшениці (А) та концентрацією у них окремих макро- і мікроелементів (С), в середньому по досліді, 2014 р., $n = 13$

^{137}Cs , А ($Bq kg^{-1}$) : С, ($mg kg^{-1}$ у продукції)	Fe	K	Mn	Cu	Zn	B
Зерно	0,17	0,12	0,34	0,62	0,39	-0,17
Солома	0,44	-0,34	0,19	0,25	-0,08	-0,36

Як видно з даних таблиці, між активністю концентрації радіонукліду у зерні й соломі пшениці та вмістом у них окремих макро- і мікроелементів кореляційний зв'язок також відсутній, за винятком концентрації купруму (зв'язок середній позитивний), що ймовірно свідчить про відсутність

безпосередньої взаємодії між радіонуклідом та досліджуваними макро- і мікроелементами.

У таблиці 7 наведені коефіцієнти кореляції між величинами урожайності зерна та соломі пшениці (У) і концентрацією у них окремих макро- і мікроелементів (С).

Таблиця 7 – Коефіцієнти кореляції між величинами урожайності зерна та соломі пшениці (У) і концентрацією у ній окремих макро- та мікроелементів (С), в середньому по досліді, 2014 р., $n = 13$

У, ($t ga^{-1}$) : С ($mg kg^{-1}$ у продукції)	Fe	K	Mn	Cu	Zn	B
Зерно	-0,70	-0,18	-0,62	-0,73	-0,74	-0,25
Солома	0,07	0,39	-0,30	-0,43	-0,57	-0,57

Як видно з даних таблиці, рівень урожайності зерна пшениці негативно корелює з концентрацією у ньому низки макро- та мікроелементів, зокрема феруму, мангану, купруму і цинку. Урожайність соломи пшениці негативно корелює з концентрацією у ній цинку та бору. Відомо, що поглинання бору рослинами залежить від наявності інших елементів живлення у ґрунту, зокрема кальцію [29]. Цей ефект обумовлено насамперед співвідношенням кальцію до бору у тканинах рослин [30]. Однак дані, що підтверджують вплив позакореневого підживлення посівів пшениці розчином цинку та мангану на величину надходження бору з ґрунту у рослини відсутні.

Висновки. Результати досліджень позакореневого підживлення посівів пшениці ярої сорту Струна миронівська на дерново-середньопідзолистих глеюватих супіщаних ґрунтах Полісся розчинами цинку, мангану та їх хелатованими формами (ЕДТА) показали наступне:

- в середньому за три роки досліджень позакореневе підживлення посівів пшениці у різні фази росту та розвитку рослин не сприяло підвищенню урожайності зерна і соломи;
- статистично значуще підвищення урожайності зерна та соломи в результаті підживлення спостерігалось лише в стресових умовах посушливого 2015 року, зу-

мовлених майже повною відсутністю атмосферних опадів на тлі високих середньодобових температур;

- в посушливих умовах обприскування посівів пшениці водним розчином цинку, мангану та хелатними формами мікроелементів (ЕДТА) забезпечувало приріст урожайності зерна на 30 %;
- між величинами переходу радіоцезію з ґрунту у зерно і солому пшениці та величинами переходу феруму, калію, мангану, купруму, цинку і бору з ґрунту відповідно у зерно та солому пшениці зв'язок відсутній, за винятком соломи для купруму ($r = 0,50$) та бору ($r = -0,53$);
- між активністю концентрації радіоцезію у зерні й солومی пшениці та вмістом у них феруму, калію, мангану, купруму, цинку і бору кореляційний зв'язок відсутній, за винятком концентрації купруму у зерні ($r = 0,62$);
- рівень урожайності зерна пшениці негативно корелює з концентрацією у ньому феруму, мангану, купруму і цинку ($r = -0,70$, $-0,62$, $-0,73$ та $-0,74$ відповідно);
- урожайність соломи пшениці негативно корелює з концентрацією у ній цинку та бору ($r = -0,57$).

Подяки. Цей проєкт було профінансовано Шведським управлінням з радіаційної безпеки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ranade-Malvi U. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka Journal of Agricultural Science*. 2011. Vol. 24(1). P. 106–109.
2. Greger M. Uptake of Nuclides by Plants. SKB-rapport. TR-04-14, 2004. 70 p.
3. Zeidan M.S., Mohamed M.F., Hamouda H.A. Effect of Foliar Fertilization of Fe, Mn and Zn on Wheat Yield and Quality in Low Sandy Soils Fertility. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2010. No. 6(6). P. 696–699.
4. Ткач О.П., Каменчук О.П., Михальська Л.М. Реакція рослин озимої пшениці сорту Артеміда на обробку насіння сірчанокислим марганцем. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Біологія*. 2014. 23(1129). С. 116–122.
5. Landberg T., Greger M. Differences in uptake and tolerance to heavy metals in *Salix* from unpolluted and polluted areas. *Appl. Geochem.* 1996. Vol. 11. P. 175–180. DOI: 10.1016/0883-2927(95)00082-8.
6. Impact of foliar and root application of phosphorus on zinc concentration of winter wheat grown in China / W. Shaoxia et al. *Crop and Pasture Science*. 2019. Vol. 70(6). P. 499–508.
7. Wang S., Tian X., Liu Q. The Effectiveness of Foliar Applications of Zinc and Biostimulants to Increase Zinc Concentration and Bioavailability of Wheat Grain. *Agronomy*. 2000. Vol. 10(2). 178 p. DOI: 10.3390/agronomy10020178
8. 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.
9. 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.
10. Zoz T., Steiner F., Fey R. Response of wheat to foliar application of zinc. *Ciência Rural, Santa Maria*. 2012. Vol. 42(5). P. 784–787.

11. Гоман Н.В., Попова В.И., Бобренко И.А. Влияние микроудобрений на структуру урожая озимой пшеницы. Вестник КрасГАУ. 2016. № 1. С. 114–117.

12. 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. 22(1). P. 113–119.

13. Saha S., Chakraborty M., Sarkar D. Rescheduling zinc fertilization and cultivar choice improve zinc sequestration and its bioavailability in wheat grains and flour. Field Crops Research. 2017. Vol. 200. P. 10–17.

14. Кривенко А.І., Бурикiна С.І. Пігментна система фотосинтетичного апарату пшениці озимої за дії мікроелементу цинк. Таврійський науковий вісник. 2015. № 102. С. 58–67.

15. Логінова 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. Агронімія. 2014. Вип. 195(1). С. 71–78. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnuagr_2014_195%281%29__13

16. Кривенко А.І., Бурикiна С.І. Ефективність форм і строків внесення цинку на посівах пшениці озимої. Вісник аграрної науки. 2019. № 2(791). С. 23–30.

17. Gurmani A.H., Shahani B.H., Khan D.I. Effect of micronutrients (Zn, Cu, Fe, Mn) on the rice yield and soil/plant concentration. Sarhad Journal of Agriculture. 1988. Vol. 4(4). P. 515–520.

18. Wu X., Aasen I. Models for predicting soil zinc availability for barley. Plant Soil. 1994. Vol. 163. P. 279–285.

19. Farago M.E. Plants and the Chemical Elements. Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity. 1994. VCH, Weinheim, 292 p.

20. Interactions between leaf macronutrients, micronutrients and soil properties in pistachio (*Pistacia vera* L.) orchards / P. Koukoulakis et al. Acta Bot. Croat. 2013. Vol. 72 (2). P. 295–310.

21. Pii Y., Cesco S., Mimmo T. Shoot ionome to predict the synergism and antagonism between nutrients as affected by substrate and physiological status. Plant Physiol. Biochem. (Paris). 2015. Vol. 94. P. 48–56. DOI: 10.1016/j.plaphy.2015.05.002.

22. Добряк Д.С., Кузін Н.В. Наукові основи використання земель в умовах радіаційного забруднення. Збалансоване природокористування. 2018. № 1. С. 6–12.

23. Груша В.В., Гудков І.М. Ефективність позакореневого підживлення рослин сполуками цинку і марганцю у зниженні накопичення радіонуклідів та збільшенні продуктивності. Вісник ЖНАЕУ. 2009. № 2. С. 48–53. URL: http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/5890/3/VZNAU_2009_2_48-53.pdf

24. Зменшення надходження ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr в сільськогосподарські рослини під впливом мікроелементів / І.М. Гудков та ін. Науковий вісник НАУ. 1998. Вип. 10. С. 264–269.

25. McGowen S.L., Basta N.T., Brown G.O. Use of diammonium phosphate to reduce heavy metal so-

lubility and transport in smelter-contaminated soil. Journal of Environmental Quality. 2001. № 30, P. 493–500. DOI: 10.2134/jeq2001.302493x

26. Graham R.D., Rengel Z. Genotypic variation in Zn uptake and utilization by plants / A.D. Robson, (Ed.). Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. 1993. P. 107–114.

27. 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.

28. Dias A.S., Lidon F.C., Ramalho J.C. Heat stress in *Triticum*: kinetics of Fe and Mn accumulation. Brazilian Journal of Plant Physiology. 2009. Vol. 21(2). P. 153–164. DOI: 10.1590/S1677-04202009000200008

29. Eck P., Campbell F.J. Effect of high calcium application on boron tolerance of carnation, *Dianthus caryophyllus*. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 1962. Vol. 81. P. 510–517.

30. Jones H.E., Scarseth G.D. The calcium boron balance in the plants as related to boron needs. Soil Science. 1944. Vol. 57. P. 15–24.

REFERENCES

1. Ranade-Malvi, U. (2011). Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. Karnataka Journal of Agricultural Science. Vol. 24(1), pp. 106–109.

2. Greger, M. (2004). Uptake of Nuclides by Plants. SKB-rapport. TR-04-14, 70 p.

3. Zeidan, M.S., Mohamed, M.F., Hamouda, H.A. (2010). Effect of Foliar Fertilization of Fe, Mn and Zn on Wheat Yield and Quality in Low Sandy Soils Fertility. World Journal of Agricultural Sciences. Vol. 6(6), pp. 696–699.

4. Tkach, O.P., Kamenchuk, O.P., Mykhalska, L.M. (2014). Reaktsiia roslyn ozymoi pshenytsi sortu Artemida na obrobku nasinnia sirchanokyslym marhantsem [Reaction of Artemis winter wheat plants to seed treatment with manganese sulfate]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Biolohiia [Bulletin of Kharkiv National University named after V.N. Karazin. Biology]. Vol. 23(1129), pp. 116–122.

5. Landberg, T., Greger, M. (1996). Differences in uptake and tolerance to heavy metals in Salix from unpolluted and polluted areas. Applied Geochemistry. Vol. 11, pp. 175–180. DOI: 10.1016/08832927(95)00082-8.

6. Shaoxia, W., Meng, L., Xiaoyuan, Z., Peiwen, F., Jianglan, S., Xiaohong, T., Yanlong, C. (2019). Impact of foliar and root application of phosphorus on zinc concentration of winter wheat grown in China. Crop and Pasture Science. Vol. 70(6), pp. 499–508.

7. Wang, S., Tian, X., Liu, Q. (2000). The Effectiveness of Foliar Applications of Zinc and Biostimulants to Increase Zinc Concentration and Bioavailability of Wheat Grain. Agronomy. Vol. 10(2), 178 p. DOI: 10.3390/agronomy10020178. Available at: www.mdpi.com/journal/agronomy

8. Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y. (2010). Biofortification and localization of zinc in wheat grain.

Journal of Agriculture and Food Chemistry. Vol. 58, pp. 9092–9102. DOI: 10.1021/jf101197h

9. Curie, C., Cassin, G., Couch, D. (2009). Metal movement within the plant: Contribution of nicotianamine and yellow stripe 1-like transporters. *Annals of Botany*. Vol. 103, pp. 1–11. DOI: 10.1093/aob/mcn207

10. Zoz, T., Steiner, F., Fey, R. (2012). Response of wheat to foliar application of zinc. *Ciência Rural, Santa Maria*. Vol. 42(5), pp. 784–787. Available at: <https://www.redalyc.org/pdf/331/33122632020.pdf>

11. Homan, N.V., Popova, Y.Y., Bobrenko, Y.A. (2016). Vliyanye mykroudobrenyi na strukturu urozhaia ozymoi pshenytsy [The influence of microfertilizers on the structure of the winter wheat crop]. *Vestnyk KrasHAU [Herald of KrasGAU]*. Vol. 1, pp. 114–117.

12. Nadim, M.A., Awan, I.U., Baloch, M.S. (2012). Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to different micronutrients and their application methods. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 22(1). pp. 113–119.

13. Saha, S., Chakraborty, M., Sarkar, D. (2017). Rescheduling zinc fertilization and cultivar choice improve zinc sequestration and its bioavailability in wheat grains and flour. *Field Crops Research*. Vol. 200, pp. 10–17. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.09.006

14. Kryvenko, A.I. Burykina, S.I. (2015). Pyhmentna systema fotosyntetychnoho aparatu pshenytsi ozymoi za dii mikroelementu tsynk [The pigment system of the photosynthetic apparatus of winter wheat under the action of the trace element zinc]. *Tavriyskiy naukovyi visnyk [Taurian Scientific Bulletin]*. Vol. 102, pp. 58–67.

15. Lohinova, I.V., Biliera, N.M. (2014). Efektyvnist riznykh form i sposobiv vnesennia mikroelementiv u tekhnolohiiakh vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur [Effectiveness of various forms and methods of introduction of microelements in technologies of cultivation of agricultural crops]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ahronomiia [Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Agronomy]*. Vol. 195(1), pp. 71–78. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nv_nau_agr_2014_195%281%29_13

16. Kryvenko, A.I. Burykina, S.I. (2019). Efektyvnist form i strokiv vnesennia tsynku na posivakh pshenytsi ozymoi [Effectiveness of forms and periods of zinc application on winter wheat crops]. *Visnyk ahranoi nauky [Herald of Agrarian Science]*. Vol. 2(791), pp. 23–30. DOI: 10.31073/agrovisnyk201902-03

17. Gurmani, A.H., Shahani, B.H., Khan, D.I. (1988). Effect of micronutrients (Zn, Cu, Fe, Mu) on the rice yield and soil/plant concentration. *Sarhad Journal of Agriculture*. Vol. 4(4), pp. 515–520.

18. Wu, X., Aasen, I., (1994). Models for predicting soil zinc availability for barley. *Plant Soil* 163, pp. 279–285. DOI: 10.1007/BF00007977

19. Farago, M.E. (1994). *Plants and the Chemical Elements: Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity*. Wiley-Blackwell, 1st edition, Weinheim, 292 p.

20. Koukoulakis, P., Chatzissavvidis, C., Papadopoulos, A., Pontikis, D. (2013). Interactions between

leaf macronutrients, micronutrients and soil properties in pistachio (*Pistacia vera* L.) orchards. *Acta Botanica Croatica*. Vol. 72(2), pp. 295–310.

21. Pii, Y., Cesco, S., Mimmo, T. (2015). Shoot ionome to predict the synergism and antagonism between nutrients as affected by substrate and physiological status. *Plant Physiol. Biochem. (Paris)*. Vol. 94, pp. 48–56. DOI: 10.1016/j.plaphy.2015.05.002.

22. Dobriak, D.S., Kuzin, N.V. (2018). Naukovi osnovy vykorystannia zemel v umovakh radiatsiinoho zabrudnennia [Scientific basis of land use in conditions of radiation pollution]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia [Balanced nature management]*. Vol. 1, pp. 6–12.

23. Hrusha, V.V., Hudkov, I.M. (2009). Efektyvnist pozakorenevoho pidzhyvlennia roslyn spolukamy tsynku i marhantsiu u znyzhenni nakopychennia radio-nuklidiv ta zbilshenni produktyvnosti [The effectiveness of foliar feeding of plants with zinc and manganese compounds in reducing the accumulation of radionuclides and increasing productivity]. *Visnyk ZhNAEU [Bulletin of ZhNAEU]*. Vol. 2, pp. 48–53. Available at: http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/5890/3/VZNAU_2009_2_48-53.pdf

24. Hudkov, I.M., Hrysiuk, S.M., Kitsno, V.O., Tkachenko, H.M. (1998). Zmshennia nadkhdzhenia 137Ss i 90Sr v silskohospodarski roslyny pid vplyvom mikroelementiv [Reduction of the intake of 137Cs and 90Sr in agricultural plants under the influence of trace elements]. *Naukovyi visnyk NAU [Scientific Bulletin of NAU]*. Vol. 10, pp. 264–269.

25. McGowen, S.L., Basta, N.T., Brown, G.O. (2001). Use of diammonium phosphate to reduce heavy metal solubility and transport in smelter-contaminated soil. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 30, pp. 493–500. DOI: 10.2134/jeq2001.302493x.

26. Graham, R.D., Rengel, Z. (1993). 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, pp. 107–114.

27. Ma, D., Sun, D., Wang, Ch. (2017). Physiological responses and yield of wheat plants in Zinc-mediated alleviation of drought stress. *Front Plant Science*. Vol. 8, pp. 1–12.

28. Dias, A.S., Lidon, F.C., Ramalho, J.C. (2009). Heat stress in *Triticum*: kinetics of Fe and Mn accumulation. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. Vol. 21(2), pp. 153–164. DOI: 10.1590/S167704202009000200008

29. Eck, P., Campbell, F. J. (1962). Effect of high calcium application on boron tolerance of carnation, *Dianthus caryophyllus*. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* Vol. 81, pp. 510–517.

30. Jones, H.E., Scarseth, G.D. (1944). The calcium boron balance in the plants as related to boron needs. *Soil Science*. Vol. 57, pp. 15–24.

Efficiency of foliar fertilization of spring wheat variety of String myronivska by zinc and manganese in Polissia of Ukraine

Vinichuk M.

The results of foliar fertilization of spring wheat crops of Struna myronivska variety with aqueous solu-

tions of zinc, manganese and their chelated analogues in EDTA (zinc and manganese complexates) at different stages of plant growth and development are presented. The research was conducted on sod-medium podzolic gley sandy soils of Polissia contaminated by radionuclides after the Chernobyl accident.

On the average, in 2014–2016 yy. the foliar fertilization of crops at different stages of growth and development of plants the yield of grain and straw of spring wheat did not increase. However, a statistically significant effect of fertilization was observed in the arid conditions of 2015, caused by almost complete absence of precipitation during the second and third decades of May and the first decade of June against the background of high average daily temperatures. Foliar fertilization of crops with zinc solution and chelated forms of trace elements (EDTA) in drought conditions

increased wheat grain yield by more than 30 % compared to the control. Foliar fertilization of wheat plants with manganese solution increased grain yield by at least 30 % regardless of the stage of plants growth and development at the time of spraying. Similar patterns were observed for straw. Under ordinary weather conditions (2014 and 2016) foliar fertilization did not increase wheat yield. It is also shown that with increasing yield of wheat grain due to foliar fertilization of crops with aqueous solutions of zinc, manganese and their chelated analogues (EDTA), the concentration of iron, manganese, copper and zinc decreases. The increase in the level of straw yield due to fertilization is negatively correlated with the concentration of zinc and boron in it ($r = -0.57$).

Key words: soil, iron, potassium, wheat, manganese, copper, radiocaesium, zinc.



Copyright: Вінічук М.М. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Вінічук М.М. <https://orcid.org/0000-0002-8042-9282>