
ECOLOGICAL MORPHOLOGY AND PHYSIOLOGY OF PLANTS



E. P. Tkach 

UDK 631.811:633.11(477.87)


*Uzhgorod National University,
Voloshyn str., 32, Uzghorod, Ukraine, 88000*

THE ELEMENTAL COMPOSITION OF GRAINS OF WINTER WHEAT FOR PRE-TREATMENT OF MANGANESE SULPHATE

Abstract. The research has been aimed at definition of bioavailable forms of selected trace elements (Mn, Cu, Zn, Co) in agricultural soils. The analyzed soils were generally characterized by acid or very acid pH. Manganese impact on plant growth and a content of the elements in grain have been studied during pre-sowing treatment of winter wheat seeds with solutions of manganese sulphate.

The field research was undertaken during 2012–2014. Experimental scheme consisted of the following variants: 1–5 – pre-sowing treatment of winter wheat seeds Artemida by solutions of $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ with corresponding percentage of concentrations: 1.0; 0.5; 0.1; 0.01; 0,001. Processing has been performed a day before sowing. Variant 6 – control, without processing. The soil was sod-brown, hydrolytic acidity – 3,47, exchange acidity – 4,82. Germination of the seeds has been preliminary determined in laboratory conditions. The growth rate, increase of dry weight, has been determined in the tillering stage (3–4 leaves). ICP spectrometry method has been applied to study the elemental compositions of the grain and soil using emission spectrometer ISP-MS Agilent 7700x. Soil samples extracted with ammonium acetate buffer, pH 4.8 in soil-solution correlation 1: 5. Samples of the grain have been chosen selectively from the plots of each variant in the stage of full grain maturity. The average sample from each repetition has been prepared for the analysis. The samples were milled and ashed in nitric acid using microwave system of sample preparation – Milestone Start D. Fluka Multielement standard solution 5 for ICP has been used for calibration standards. Biological absorption coefficients ($C_{b,a}$) have been identified for establishing of quantitative parameters of transition of micronutrients from the soil into the wheat plants. $C_{b,a}$ have been determined by the correlation between the concentration of the element in wheat and its concentration in soil. Comparison has been conducted between two samples: $C_{b,a}$ in the variant of optimal 0,01 % concentration of manganese sulphate in pre-sowing treatment of winter wheat seeds and $C_{b,a}$ in control variant where the natural influence – high availability of mobile forms of microelements in soil under research – has been taken into consideration.

The research on determination of bioavailable forms of trace elements in the sod-brown soils has demonstrated very high provision of mobile forms of manganese and copper as well as high provision of zinc and cobalt. It has been explained by the genesis of these soils since soil forming rocks of volcanic origin are saturated with polymetals and mobility and bioavailability depend on the acid reaction of soil solution. Based on manganese research results there was defined a clear

 Tel.: +38066-082-46-27. E-mail: tkachelena84@gmail.com

DOI: 10.15421/031521

dependence of the plant growth on the concentration of manganese sulphate in pre-sowing treatment of wheat seeds. The usage of 0, 01–0,001 % manganese sulphate solutions is optimal for winter wheat growth. Treatment with these concentrations stimulates the growth of the plants in comparison to the control variant. Higher concentrations, 0,1–1,0 %, can result with deceleration of growth processes.

It has been found out that the content of manganese in wheat depends on the concentration of the element used in pre-sowing treatment of seeds. The general conformity to natural laws of this dependence is due to the fact that as the concentration of manganese in pre-sowing treatment of seeds has decreased, its concentration in seeds has increased, but it has been less than in seeds of the control variant. We should mention that the concentration of manganese in wheat seeds of the control variant has a little exceeded the maximum allowable concentration. There was assumed that in the case of pre-sowing treatment of the seeds with solutions of manganese sulphate of 0,01 and 0,001 % concentrations the manganese can act as a microelement without negative influence on formation of harvest and the content of valuable manganese microelement in grain.

During the pre-sowing treatment of the seeds the manganese reveals its antagonism in respect to accumulation of copper and not affecting the content of zinc and cobalt in the grain. Manganese, zinc, and copper can be accumulated in the grain of winter wheat, $C_{b,a} > 1$. The reason is high need of crops, including winter wheat, in these microelements.

Key words: trace elements, bioavailability, winter wheat, pre-sowing treatment of seeds, manganese.

УДК 631.811:633.11(477.87) **Е. П. Ткач**

*ГВУЗ «Ужгородский национальный университет»,
ул. Волошина, 32, г. Ужгород, Украина, 88000,
тел.: +38066-082-46-27, e-mail: tkachelena84@gmail.com*

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДОПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН СУЛЬФАТОМ МАРГАНЦА

Аннотация. Выявлено высокую обеспеченность подвижными формами марганца, цинка, меди и кобальта в дерново-буроземной почве Закарпатья. Исследована роль марганца при допосевной обработки семян озимой пшеницы на рост и развитие растений и накопление элемента в зерне, установлен антагонизм марганца по отношению к содержанию меди. Показано, что 0,01–0,001%-ные растворы сульфата марганца являются оптимальными для предпосевной обработки семян озимой пшеницы сорта Артемида.

Ключевые слова: микроэлементы, биодоступность, пшеница озимая, допосевная обработка семян, марганец.

УДК 631.811:633.11(477.87) **О. П. Ткач**

*ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,
вул. Волошина, 32, м. Ужгород, Україна, 88000,
тел.: +38066-082-46-27, e-mail: tkachelena84@gmail.com*

ЕЛЕМЕНТНИЙ СКЛАД ЗЕРНА ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗА ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ СУЛЬФАТОМ МАРГАНЦЮ

Анотація. Виявлено, що дерново-буроземні ґрунти Закарпаття мають високу забезпеченість рухомими формами марганцю, цинку, міддю та кобальтом. Досліджено вплив марганцю за передпосівної обробки насіння озимі пшениці на ріст та розвиток рослин і накопичення елементу в зерні. Встановлено антагонізм марганцю до вмісту міді у зерні. Визначено, що 0,01–0,001%-ві розчини сульфату марганцю є оптимальними для передпосівної обробки насіння озимі пшениці сорту Артеміда.

Ключові слова: мікроелементи, біодоступність, озима пшениця, передпосівна обробка насіння, марганець.

ВСТУП

Мікроелементи в ґрунті є невід’ємними складовими ценозів та мають різну природу походження: літогенну, антропогенну, педогенну. В природніх умовах первинним джерелом майже всіх мікроелементів ґрунту являються мінерали ґрунтоутворних порід і, як правило, природній їх вміст в Україні не становить загрози для живих організмів. Проте, внаслідок антропогенного навантаження відбуваються якісні та кількісні зміни елементного складу ґрунту, що призводить до накопичення ряду елементів у токсичних концентраціях з наступним впливом на стан навколишнього середовища та здоров’я людини (Motuzova, 2013; Kabata-Pendias, Szteke, 2015). Біодоступність мікроелементів, баланс поживних речовин в ґрунті, їх кількісне співвідношення являється важливими чинниками, що визначають якість рослинної продукції. Характеристиками ґрунту, які впливають на доступність елементу являються рН і Eh (окисно-відновний потенціал), гранулометричний склад, кількісний та якісний вміст органічної речовини, мінеральний склад, температурний й водний режими тощо. Взаємодія між хімічними елементами також впливає на доступність мікроелементів для рослин (Adsorption and migration..., 2001; Kabata-Pendias, 2005).

Вміст мікроелементів у рослинах, їх здатність до акумуляції, розподіл по тканинам і органам, вплив на ріст, розвиток, продуктивність сільськогосподарських культур залежить від фізіологічної ролі металів, видових і сортових особливостей культур, що в значній мірі є генетично детермінованими (Cobbet, 2003; Marschner’s Mineral Nutrition..., 2012). Аутоекотологічна реакція рослин на вплив мікроелементного складу ґрунту може мінятися за дії численних чинників й потребує досліджень стосовно визначеної системи «ґрунт – рослина» або ж «ґрунт – добриво – сільськогосподарська культура» (Kabata-Pendias, 2005).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили в польових умовах протягом 2012–2014 рр. на базі Закарпатської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту сільськогосподарства Карпатського регіону. Схема стаціонарного досліду включала наступні варіанти: 1–5 – передпосівна обробка насіння озимої пшениці сорту Артеміда розчинами сульфату марганцю ($MnSO_4 \cdot 5H_2O$) відповідними концентраціями: 1,0; 0,5; 0,1; 0,01; 0,001 %, яку проводили за добу до висіву; час обробки насіння – 24 години; варіант 6 – контроль (без обробки). Сівба – в першій декаді жовтня. Попередник – багаторічні бобові трави. Загальна площа ділянок – 330 м², облікова – 300 м², розміщення ділянок послідовне. Агротехніка вирощування пшениці озимої загальноприйнята для даної ґрунтово-кліматичної зони. Попередньо визначали лабораторну схожість згідно ДСТУ 4138-2002.

ґрунт дослідної ділянки – дерново-буроземний середньо суглинистий щербуватий, слабо змитий окультурений. Вміст гумусу 3,19 %; легкогідролізованого азоту (N) 109,0 мг/кг; вміст рухомого калію (K_2O) 69,6 мг /кг; рухомого фосфору (P_2O_5) 38,8 мг/кг; гідролітична кислотність 3,47; рН сольове (обмінна кислотність) 4,82.

Для визначення показника росту – приросту маси сухої речовини рослин, у фазі 3–4 листка (27–29 добу після сівби) відбирали по 100 рослин з кожного варіанту досліду у 4– кратній повторності. Рослинний матеріал просушували в сушильній шафі за температури 105 °С до постійної маси.

Визначення елементного складу зерна та ґрунту проводили методом ІСР-спектрометрії на емісійному спектрометрі ICP-MS Agilent 7700x в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України. Зразки зерна були відібрані з ділянок кожного варіанту в фазі повної стиглості. Для аналізу готували середню пробу з 100 г зерна кожної повторності. Визначення проводили за валідованою в Інституті методикою МУК 4.1.1483-03 «Определение содержания химических элементов в

диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой».

Для аналізу зразки зерна змололи та 0,400 г озолили в азотній кислоті (ICP-grade) за допомогою мікрохвильової системи пробопідготовки Milestone Start D. Усі розчини готували на воді 1-го класу (18 Мом), підготовленої на системі очищення води Scholar-UV Nex Up 1000 (Human Corporation, Корея). В якості калібрувального стандарту використовували Multielement standard solution 5 for ICP, Fluka.

Проби ґрунту з орного шару (3–20 см) відібрані рендомізованим способом. Наважки 10,00 г ґрунту поміщали у колби, заливали 50 см³ амонійно-ацетатного буферу, рН 4,8 (співвідношення ґрунт-розчин 1:5). Струшували на ротаторі протягом години і відфільтровували (ДСТУ ISO 11464:2001).

Результати досліджень оброблені статистично в MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

При дослідженні впливу марганцю на лабораторну схожість насіння озимої пшениці сорту Артеміда виявлено, що використання 0,001%-го розчину сульфату марганцю для передпосівної обробки є оптимальною для проростання насіння. Порівняння схожості насіння в межах дії концентрацій від 0,01 до 1,0 % показує, що за більших концентрацій стимуляція розвитку насіння істотно знижується.

В умовах польових дослідів у фазі 3–4 листка було виявлено чітку залежність росту рослин від концентрації сульфату марганцю за передпосівної обробки насіння пшениці (рис. 1). Середнє значення маси сухої речовини рослин, вирощених за дії 0,01–0,001 % розчинів сульфату марганцю, було вищим, ніж у контрольному досліді. Дія вищих концентрацій 0,1–1,0 % проявляється у гальмуванні ростових процесів. В період формування проростка, на другому етапі органогенезу озимої пшениці всі органи – зародковий корінець, листя, стебло, утворюються за рахунок материнських поживних речовин. Проростки рослин, поряд з автотрофним живленням, використовують запаси поживних речовин насіння, тому в цей період розвитку може проявлятися фітотоксична дія металів. Оптимальними для росту рослин озимої пшениці є використання в якості передпосівної обробки насіння 0,01–0,001%-ві розчини сульфату марганцю. Обробка даними концентраціями стимулює ріст рослин в порівнянні з контролем.

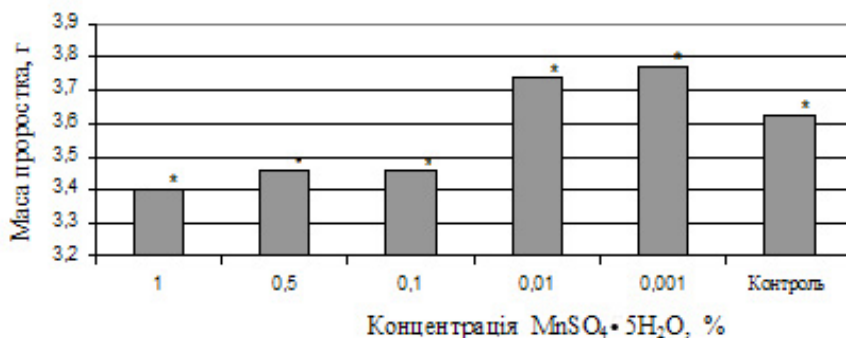


Рис. 1. Вплив допосівної обробки насіння сульфатом марганцю на ріст рослин пшениці озимої сорту Артеміда в умовах польових дослідів

Примітка: * – різниця між показниками за концентрацій 1,0–0,1 та 0,01–0,001 і контролем істотна при $P \leq 0,05$.

Згідно результатів аналізу ґрунту з визначення вмісту рухомих форм марганцю, цинку, міді та кобальту в орному шарі, не було виявлено перевищення гранично допустимої концентрації (ГДК) вмісту детектованих елементів у ґрунті (табл. 1). Під ГДК важких металів слід розуміти таку їх концентрацію, яка при тривалому

використанні ґрунтів для вирощування сільськогосподарських культур не викликає патологічних змін або аномалій росту й розвитку рослин. Проте, показник ГДК можна вважати умовним, оскільки фітотоксичність мікроелементів визначається не тільки кількісним показником їх вмісту в ґрунті, а й низкою інших чинників, таких як: природно-кліматичні умови, фізико-хімічні властивості ґрунту, фізіологічна роль, видова та сортова специфіка акумуляції важких металів (Melnychuk, Hofman, Horodniy, 2004; Prykladna biokhimiya..., 2006). За результатами агрохімічного обстеження Закарпатським обласним державним проектно-технологічним центром охорони родючості ґрунтів та якості продукції, проведеного протягом дев'ятого туру, в області нараховується 191,10 тис. га (71,4 %) кислих ґрунтів від загальної обстеженої площі. Причому значну частину площ займають землі з сильно кислою реакцією ґрунтового розчину. Середньозважений показник рН становить 5,04 (Fandyuk, Stepashuk, Mazayeva, 2012). рН досліджуваного ґрунту 4,82, що за групуванням ґрунтів за ступенем кислотності і лужності є сильно кислими (ДСТУ 4362:2004, Додаток Б). Відомо, що зі збільшенням кислотності покращується доступність для рослин марганцю, міді та цинку (Kabata-Pendias, Szteke, 2015).

Таблиця 1

Вміст рухомих форм ряду мікроелементів у дерново-буроземному ґрунті, (n=2)

Мікроелемент	Вміст у ґрунті (3-20 см)	ГДК
	мг/кг	
Mn	$27,26 \pm 1,81$ (26,64) 38,6-18,05	60,0**
Zn	$3,56 \pm 0,2$ (23) 4,58-2,62	23,0
Cu	$1,1 \pm 0,03$ (10,97) 1,6-1,1	3,0
Co	$0,22 \pm 0,02$ (42,84) 0,3-0,08	5,0

Примітка: * – у чисельнику $\bar{x} \pm m \bar{x}$ (V,%), в знаменнику min–max; ГДК згідно ГН 2.1.7.020-94; ** – при рН 4,0.

Порівнюючи отримані дані з узагальненими даними центру «Облдержродючість», визначили, що гумусовий горизонт має дуже високу забезпеченість рухомими формами марганцю, що перевищує показник >20,1; міді – >0,51; високу забезпеченість цинком – >3,10 та кобальтом – >0,21. Дерново-буроземні ґрунти досліджуваних сільськогосподарських угідь знаходяться на елювіо-делювію Карпатського флішу, тому, безперечно, потрібно враховувати, що високий вміст металів має також природне походження, оскільки ґрунтоутворювальні породи вулканічного (метаморфічного) походження насичені поліметалами, а рухомість та біодоступність залежить від кислої реакції ґрунтового розчину.

Встановлено, що накопичення цинку та кобальту в зерні не залежить від концентрації марганцю використаної для передпосівної обробки насіння. Висока забезпеченість ґрунту рухомими формами даними елементами не впливає на їх вміст в зерні. Відмічено зменшення вмісту міді в зерні за обробки насіння 0,01–1,0%-ми концентраціями сульфату марганцю. Слід зазначити, що на всіх варіантах досліді не відмічено перевищення ГДК цинку, кобальту та міді в зерні (табл. 2).

Вміст марганцю у зерні залежить від концентрації елемента, використаної для допосівної обробки насіння. Загальна закономірність цієї залежності полягала у тому, що по мірі зменшення концентрації марганцю при допосівній обробці насіння, вміст його у зерні зростав, але при цьому був меншим, ніж вміст у зерні контрольного варіанту. Встановлено також, що вміст марганцю у зерні за обробки насіння у концентрації 1 та 0,5 % був однаковим і меншим, ніж при обробці насіння у

концентрації 0,1 і 0,01 %. Крім того, за вмістом марганцю у зерні не виявлено різниці між варіантами передпосівної обробки насіння у концентраціях марганцю 0,1 і 0,01 %.

Враховуючи високу забезпеченість ґрунту рухомими формами марганцю, та результати аналізу на вміст марганцю у зерні пшениці озимої, який в контрольному варіанті дещо перевищував ГДК, можемо вважати, що обробка насіння сульфатом марганцю в оптимальних концентраціях сприяє активації росту на ранніх етапах органогенезу, але не впливає істотно на накопичення марганцю в зерні. Це може бути пов'язано із низьким рівнем мобільності марганцю у рослинах пшениці. Відомо, що існують сортові відмінності у накопиченні марганцю у зерні пшениці. Різниця за вмістом мікроелементу в рослинах зберігається, як на добре забезпечених доступним марганцем ґрунтах, так і на дефіцитних (Tong, Rengel, Graham, 1997). З підвищенням концентрації іонів марганцю за передпосівної обробки істотно знижується вміст елементу в зерні пшениці озимої, вірогідно за рахунок стимуляції розвитку культури у вегетативний період при цьому рівень накопичення мікроелементу в генеративних органах знижується відповідно до збільшення загальної маси рослин (Morgun, Schwartau, Kirizij, 2010).

Таблиця 2

Вміст елементів в зерні пшениці озимої за передпосівної обробки насіння сульфатом марганцю, (n=2)

№ варіанту	Передпосівна обробка	Mn	Zn	Cu	Co
		мг/кг			
1	MnSO ₄ ·5H ₂ O (1,0%)	41,72*	9,41**	2,65***	0,004
2	MnSO ₄ ·5H ₂ O (0,5%)	40,83*	10,99**	2,61***	0,004
3	MnSO ₄ ·5H ₂ O (0,1%)	45,17**	11,47**	2,71***	0,005
4	MnSO ₄ ·5H ₂ O (0,01%)	42,52*	9,07**	2,54***	0,005
5	MnSO ₄ ·5H ₂ O (0,001%)	44,85**	11,29**	3,08**	0,005
6	Контроль	50,00	11,54**	4,25**	0,006
	ГДК	44,00	50,00	10,00	1,00

Примітка: ГДК (Zerkalov, 2012); * – P<0,5; ** – P<0,05; *** – P<0,005.

Для встановлення кількісних параметрів переходу мікроелементів з ґрунту у рослини пшениці визначили коефіцієнти біологічного поглинання ($K_{б.п.}$), які дають можливість оцінити вплив передпосівної обробки насіння не лише безпосередньо на процеси накопичення металів рослинами, а й оцінити роль елементу у системі ґрунт-добриво-рослина. $K_{б.п.}$ визначали за співвідношенням вмісту елементу в зерні до його вмісту в ґрунті. Порівняння проводили між двома вибірками: $K_{б.п.}$ у варіанті з оптимальною 0,01%-вою концентрацією сульфату марганцю при передпосівній обробці насіння пшениці озимої з $K_{б.п.}$ в контрольному варіанті, де враховувався природний фактор впливу – висока забезпеченість рухомими формами мікроелементів у досліджуваному ґрунті (табл. 3).

Показано, що марганець, цинк та мідь можуть накопичуватися в зерні пшениці озимої – $K_{б.п.}>1$, що пояснюється відомою потребою зернових колосових, зокрема озимої пшениці, в даних мікроелементах (Morgun, Schwartau, Kirizij, 2010; Shpaar, 2012; Morgun, Sanyn, Schwartau, 2014). $K_{б.п.}$ характеризує вибіркоче поглинання хімічних елементів рослинами і для одного й того ж виду рослин не є сталим та може змінюватися (Prykladna biokhimiya..., 2006). На відміну від поглинання, характер розподілу по органам та тканинам, мобільність металів в більшості випадків не залежить від едафічних, чи сезонних факторів і обумовлені головним чином

властивостями металів й видовими особливостями рослин (Ilin, 1991; Ustojchivost rastenij..., 2007).

Таблиця 3

Коефіцієнт біологічного поглинання ($K_{б.п.}$) важких металів генеративними органами пшениці озимої (зерно)

№ варіанту	Передпосівна обробка	Mn	Zn	Cu	Co
1	MnSO ₄ ·5H ₂ O (0,01%)	1,56	2,02	1,98	0,02
2	Контроль	1,83	2,58	3,32	0,02

За дефіциту мікроелементів у ґрунті – необхідний оптимум в живленні рослин досягається за рахунок підвищення рівня корневих виділень з хелатуючими властивостями та економного використання елементу (Morgun, Schwartz, Kirizij, 2010; Ilin, 1991). Для коректної ідентифікації дефіциту елементів у ґрунті-кліматичних умовах регіону, важливо враховувати особливості фізіології метаболізму елементів живлення та відмінності у мобільності елементів живлення у рослинах пшениці. Так, мідь та цинк є елементами, які обмежено транслюкуються від старих листків до молодих; марганець – не транслюкується від старих до молодих листків. На незабруднених ґрунтах найменша концентрація металів властива органам запасання асимілятів. При високому забезпеченні в ґрунті мікроелементів оптимум в живленні досягається в результаті роботи фізіологічних бар'єрів. Для більшості рослин основним бар'єром є коренева система (Ilin, 1991; Ustojchivost rastenij..., 2007; Kabata-Pendias, Szteke, 2015). Кобальт є металом, який має високий рівень акумуляції в коренях та відповідно низький в надземній частині, що пояснює низький рівень накопичення елементу в зерні озимої пшениці при $K_{б.п.} < 0,1$.

Обробка марганцем за передпосівної обробки насіння супроводжувалось суттєвим зменшенням вмісту міді, на що вказує $K_{б.п.}$ в порівнянні з контролем (табл. 3).

ВИСНОВКИ

Дерново-буроземні ґрунти Закарпаття характеризуються кислою реакцією ґрунтового розчину і мають високу забезпеченість рухомими формами марганцю, цинку, міддю та кобальтом, але вміст їх у ґрунті не перевищує ГДК.

Передпосівна обробка насіння озимої пшениці 0,01–0,001%-вими концентраціями водних розчинів сульфату марганцю стимулює схожість та ріст рослин і є оптимальною щодо впливу на накопичення марганцю у зерні пшениці озимої сорту Артеміда. Зазначимо, що вміст марганцю в зерні на контрольному варіанті дещо перевищував ГДК. З підвищенням концентрації іонів марганцю за передпосівної обробки істотно знижується вміст елементу в зерні пшениці озимої, що може бути пов'язано з ефектом «розчинення».

Марганець за передпосівної обробки насіння проявляє антагонізм по відношенню до накопичення міді у зерні озимої пшениці, та не впливає на вміст цинку і кобальту.

* * *

Аналітичні дослідження виконувалися за підтримки проекту ЄС «Оздоровчі та екологічні програми, пов'язані із Чорнобильською зоною відчуження».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Horodniy, M. M., Melnychuk, S. D., Honchar, O. M. et al., 2006.** Prykladna biokhimiya ta upravlinnya yakystyu produktsiyi roslinnytstva [Applied Biochemistry and quality control crop products], Aristey, Kyiv (in Ukrainian).
- Zerkalov, D. V., 2012.** Ekolohichna bezpeka ta okhrona dovkillia [Ecological safety and

environment protection], Osnova, Kyiv (in Ukrainian).

Ilin, V. B., 1991. Tjzhelye metally v sisteme pochva-rastenie [Heavy metals in soil-plant system], Nauka, Novosibirsk (in Russian).

Kabata-Pendias, A., 2005. Problemy sovremennoj biogeohimii mikrojelementov [Problems of the modern biogeochemistry of trace elements], Russian chemistry journal, 24(3), 15–19 (in Russian).

Titov, A. F., Talanova, V. V., Kaznina, N. M., Lajdinen, G. F., 2007. Ustojchivost rastenij k tjzhelym metallam [Plant tolerance to heavy metals], Karelskij nauchnyj centr RAN, Petrozavodsk (in Russian).

Melnychuk, D., Hofman, Dzh., Horodniy, M., 2004. Yakist gruntu ta suchasni stratehiyi udobrennya [Soil quality and modern strategies of fertilization], Aristey, Kiev (in Ukrainian).

Morgun, V. V., Schwartz, V. V., Kirizij, D. A., 2010. Fiziologicheskie osnovy formirovaniya vysokoy produktivnosti zernovykh zlakov [The physiological basis for the formation of high productivity of cereals], Fiziologija i biohimija kulturnykh rastenij, 42(5), 371–392 (in Ukrainian).

Morgun, V. V., Sanyn, E. V., Schwartz, V. V., 2014. Klub 100 tsentneriv. Suchasni sorty ta systemy zhyvlennya i zakhystu ozymoyi pshenytsi [Club 100 quintals. Modern varieties and feed systems and protecting winter wheat], Lohos, Kiev (in Ukrainian).

Motuzova, G. V., 2013. Soedinenija mikrojelementov v pochvah: Sistemnaja organizacija, jekologicheskoe znachenie,

monitoring [The compounds of trace elements in soils: Systemic organization, ecological importance, monitoring], LIBROKOM, Moscow (in Russian).

Fandalyuk, A. V., Stepashuk, I. S., Mazayeva, L. V., 2012. Yakist gruntiv Zakarpattya za rezultatamy IX turu ekolohohahrokhimichnoyi pasportyzatsiyi [Soil quality of Transcarpathia: results of IX of the tour ecological and agrochemical certification], Okhorona rodyuchosti gruntiv, 8, 137–146 (in Ukrainian).

Shpaar, D., 2012. Zernovye kultury: vyrashhivanie, uborka, hranenie i ispolzovanie [Grain crops: growing, harvesting, storage and use], Zerno, Kiev (in Ukrainian).

Cobbett, Ch., 2003. Heavy metals and plants – model systems and hyperaccumulators, New Phytologist, 159, 289–293.

Dube, A., Zbytniewski, R., Kowalkowski, T., Cukrowska, E., Buszewski, B., 2001. Adsorption and migration of heavy metals in soil, Polish Journal of Environmental Studies, 10(1), 1–10 (in Poland).

Kabata-Pendias, A., Szteke, B., 2015. Trace Elements in Abiotic and Biotic Environments, CRC Press, Taylor & Francis Group.

Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 2012. Ed. by P. Marschner, Academic Press is an imprint of Elsevier, USA.

Tong, Y., Rengel, Z., Graham, R. D., 1997. Interactions between nitrogen and manganese nutrition of barley genotypes differing in manganese efficiency, Annals of Botany, 79, 53–58.

Стаття надійшла в редакцію: 03.09.2015

Рекомендує до друку: чл.-кор. НАНУ, д-р. біол. наук, проф. В. В. Швартау