

УДК 635.55.006:631.81

ВМІСТ МАКРОЕЛЕМЕНТІВ В ЛИСТІ ПШЕНИЦІ ПРИ ПРОРОСТАННІ ЗА УМОВИ ДОДАВАННЯ ІОНІВ КАДМІЮ У ЖИВИЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Чечуй О. Ф.¹, Вакерич М. М.²

Вміст макроелементів в листі пшениці при проростанні за умов додавання іонів кадмію у живильне середовище. - О. Ф. Чечуй, М. М. Вакерич - В модельних експериментах в умовах лабораторно-вегетаційних досліджень досліджено вміст макроелементів у пшениці (*Triticum aestivum* L.) при проростанні в присутності іонів кадмію у живильному середовищі. Виявлено зменшення вмісту нітрогену, фосфору і калію в листі пшениці на 15-ту та 28-му добу проростання за умов додавання іонів кадмію у концентрації 10^{-4} М, в той час як при концентрації металу 10^{-7} М вміст цих макроелементів збільшується. Показано збільшення вмісту калію на 28-му добу проростання за концентрації кадмію 10^{-7} М.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., нітроген, фосфор, калій, мінеральне живлення, кадмій.

Адреса: 1. Харківський національний аграрний університет імені В. В. Докучаєва, кафедра агрохімії, м. Харків, 62482, пмт. Докучаєва, 1, Україна, e-mail: chechui@mail.ru.

2. ДВНЗ «Ужгородський національний університет», біологічний факультет, кафедра генетики, фізіології рослин і мікробіології, м. Ужгород, 88000, вул. Волошина 32, Україна, e-mail: vakerich@yandex.ru

Содержание макроэлементов в листьях пшеницы при прорастании в условиях добавления ионов кадмия в питательную среду. – Е.Ф. Чечуй, М.М. Вакерич – В модельных экспериментах в условиях лабораторно-вегетационных исследований исследовано содержание у пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при прорастании в присутствии ионов кадмия в питательной среде. Выявлено уменьшение содержания нитрогена, фосфора и калия в листьях пшеницы на 15-е и 28-е сутки прорастания в условиях добавления ионов кадмия в концентрации 10⁻⁴ М, в то время как при концентрации металла 10⁻⁷ М содержание этих макроэлементов увеличивается. Показано увеличение содержания калия 28-е сутки прорастания при концентрации кадмия 10⁻⁷ М.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., нитроген, фосфор, калій, мінеральне живлення, кадмій.

Адрес: 1. Харьковский национальный аграрный университет имени В. В. Докучаева, кафедра агрохимии, г. Харьков, 62482, пгт. Докучаева, 1, Украина, e-mail: chechui@mail.ru.

2. ДВУЗ «Ужгородский национальный университет», биологический факультет, кафедра генетики, физиологии растений и микробиологии, г. Ужгород, 88000, ул. Волошина 32, Украина, e-mail: vakerich@yandex.ru

The content macroelements in the leaves of wheat at germination under conditions of adding cadmium ions in the growth medium. - H.F. Chechui, M.M. Vakerych. – In the model experiments in a laboratory study investigated vegetation content in wheat (*Triticum aestivum* L.) during germination in the presence of cadmium ions in the medium. Show the decrease content of nitrogen, phosphorus and potassium in the wheat leaves by 15-th and 28-th day of germination under conditions of adding cadmium ions at 10⁻⁴ M, while metal with a concentration of 10⁻⁷ M content of these macroelements increases. An increase in potassium 28-th day of germination when cadmium concentration of 10⁻⁷ M.

Key words: *Triticum aestivum* L., Nitrogen, phosphorus, potassium, mineral nutrition, cadmium.

Address: 1. Kharkiv National Agrarian University named V.V. Dokuchaev, Kharkiv, Ukraine, e-mail: chechui@mail.ru.

2. Uzhgorod National University, Uzhgorod, Ukraine, e-mail: vakerich@yandex.ru

Вступ

Для нормального перебігу всіх фізіолого-біохімічних процесів в онтогенезі сільськогосподарських рослин та отримання якісного врожаю рослина має бути забезпечена всіма поживними елементами, кожен із яких має певне значення у метаболізмі [1,2]. Мінеральне живлення є регульованим фактором онтогенезу рослин та найбільш швидкодіючим фактором підвищення врожайності сільськогосподарських культур [3]. Як відомо, се-

ред макроелементів основна роль належить нітрогену, калію і фосфору.

Пшениця належить до зернових культур широкого сільськогосподарського виробництва. Практика показала, що підживлення зернових рослин азотом є найбільш ефективним методом управління розвитком їх елементів продуктивності. У озимій пшениці існує послідовність дванадцяти етапів органогенезу [4], кожен з яких характеризується різною потребою в основних елементах мінерального живлення. Так, в осінній період вегетації озима пшениця потребує помірного живлення, яке в цю-

му періоді запобігає переростанню озимини, непродуктивному витрачання вологи, а при високому фосфорно-калійному фоні забезпечує добре розвинуту кореневу систему та зимостійкість рослин [5].

На кількісні і якісні показники врожайності впливають ґрунтово-кліматичні умови території сільськогосподарського призначення, зокрема, забруднення важкими металами, з яких одним із найтоксичніших є кадмій, який належить до неесенціальних мікроелементів, має тривалий термін напіввиведення і здатний до акумуляції у тканинах рослин, але біологічна важливість цього елемента для рослин поки не встановлена [6]. Крім того, кадмій входить до складу фосфорних добрив, тому отримання оптимальних врожаїв сільськогосподарських культур і збереження довкілля можливе за умов раціонального використання мінеральних елементів у складі добрив та поживних сумішей. Дані стосовно вмісту кадмію у ґрунтах України є здебільшого фрагментарними [7, 8, 9].

Вміст важких металів в рослинах залежить від активності поглинання металу клітинами кореня та ефективністю його пересування по рослині [10]. Одним з візуальних проявів фітотоксичності кадмію може бути гальмування росту коренів: зменшується їх довжина, відмирають кореневі волоски, знижується біомаса [11, 12, 13]. Доведено, що у коренях інактивується більша частина іонів кадмію, які потрапляють у рослини, внаслідок їхнього зв'язування фітохелатинами [14, 15], а також – внутрішньоклітинної компартменталізації. Деякі вчені припускають, що виділення коренями злакових культур фітосидерофорів – низькомолекулярних сполук у ризосферу може бути важливим механізмом детоксикації кадмію [16].

Токсична дія кадмію може проявлятися також у вигляді пригнічення росту надземної частини рослин [17]. Важливою причиною зниження надземної біомаси є негативний вплив кадмію на ріст листків і інтенсивність фотосинтезу [18], важливу роль при цьому відіграє прапорцевий лист, який у злакових рослин є головним постачальником макроелементів до колосу й приймає участь у формуванні зерна [19]. Зокрема, на рослинах пшениці показано зниження, в присутності цього металу, активності ферментів фотосинтетичного апарату: рібулозобіфосфаткарбоксилази [20], зниження вмісту хлорофілу [21], дегідрогенази δ -амінолевулінової кислоти, протохлорофіллідоксидоредуктази [22, 23].

Гальмування довжини листків та зниження інтенсивності фотосинтезу в присутності кадмію пов'язане зі змінами у мінеральному живленні рослин [24, 25].

Тому вивчення вмісту нітрогену, фосфору та калію у пшениці на ранніх стадіях проростання в умовах збільшеного вмісту іонів кадмію у середовищі пророщування є актуальним для проведення завчасної діагностики мінерального живлення зернобобових рослин.

Матеріали та методи дослідження

В роботі використовували насіння озимої пшениці (*Triticum aestivum* L.) сорту Шуліндинка урожаю 2015 р. Проводили лабораторно-вегетаційні дослідження з використанням гідропонної культури, яка складалася з мінеральної вати та світлопроникної плівки. В якості азотного живлення застосовували суміш Кнопа [26] у половинній концентрації з додаванням мікроелементів. Насіння пророщували у чашках Петрі на змоченому дистильованому водою фільтрувальному папері на протязі 3-х діб у термостаті за 27 °C та 4-х діб в умовах фітотрону. Рослини поділяли на групи: 1) на 8-ту добу проростання рослини пшениці пересаджували у гідропонну культуру, в яку крапельно додавали кадмій у формі CdCl_2 в складі суміші Кнопа у концентраціях 10^{-4} та 10^{-7} М та пророщували ще протягом 7-ми діб; 2) на 21-шу добу проростання рослини пшениці пересаджували у гідропонну культуру, в яку крапельно додавали кадмій у формі CdCl_2 в складі суміші Кнопа у концентраціях 10^{-4} та 10^{-7} М та пророщували ще протягом 7-ми діб. Контрольні рослини вирощували у половинній концентрації розчину Кнопа без додавання CdCl_2 на протязі 15-ти та 28-ми діб.

Вибір концентрацій кадмію пояснюється активністю процесів вільнорадикального окислення пшениці у цьому діапазоні [27].

Вміст азоту визначали за методом К. Гінзбург-Щеглової з реактивом Неслера, фосфору – за методом Деніже в модифікації Ляковського з молібденовою кислотою на фотоколориметрі, а калію – на полуменовому фотометрі після мокрого озолення рослинного матеріалу [28, 29]. Аналізували вміст азоту, фосфору та калію у листках на 15-ту добу пророщування (фаза двох листків) та на 28-му добу проростання (фаза трьох листків) в присутності іонів кадмію у поживному середовищі протягом 7-ми діб. Обробку даних здійснювали методом варіаційної статистики *ANOVA* з використанням комп'ютерної програми Statistica 7.0 [30].

Результати та обговорення

Як показано в табл. 1, в присутності іонів кадмію спостерігається зниження вмісту нітрогену, фосфору та калію у листках пшениці на 15-ту добу пророщування в присутності іонів кадмію у концентрації 10^{-4} М у поживному середовищі протягом 7-ми діб. Відомо, що нітроген входить до складу найважливіших біологічних сполук у рослині: амінокислот, білків, пуринових та піримідинових основ, нуклеотидів, нуклеїнових кислот, хлорофілу, рослинних гормонів, алкалоїдів, аміноцукрів. Основними функціями фосфору в рослинах є участь в енергетичному обміні, фосфорилуванні клітинних білків, зв'язаний зі спадкоємною інформацією оскільки входить до складу ДНК, РНК, зміні проникності мембран тощо [31].

Таблиця 1. Вміст макроелементів у листі пшениці на 15-ту добу пророщування при додаванні іонів кадмію у поживному середовищі на протязі 7-ми діб, % на суху речовину, $M \pm m$, $n=5$

Table 1. The content of macroelements in the leaves of wheat on 15-day in dermination when added under the action of cadmium ions during the 7-days, % on dry substance, $M \pm m$, $n=5$

Макроелемент	Контроль (суміш Кнопа)	CdCl ₂ 10 ⁻⁴ М	CdCl ₂ 10 ⁻⁷ М
N	1,27 ± 0,09	0,91±0,07*	1,39±0,14*
P ₂ O ₅	0,68 ±0,04	0,52±0,05*	0,77 ±0,03*
K ₂ O	0,53±0,03	0,36 ±0,03*	0,61±0,04

* - $p \leq 0,05$ відношенню до контролю

Таблиця 2. Вміст макроелементів у листі пшениці на 28-му добу пророщування при додаванні іонів кадмію у поживному середовищі на протязі 7-ми діб, % на суху речовину, $M \pm m$, $n=5$

Table 2. The content of macroelements in the leaves of wheat on 28-day in dermination when added under the action of cadmium ions during the 7-days, % on dry substance, $M \pm m$, $n=5$

Макроелемент	Контроль (суміш Кнопа)	CdCl ₂ 10 ⁻⁴ М	CdCl ₂ 10 ⁻⁷ М
N	1,37±0,12	1,04 ±0,06 *	1,52 ±0,11*
P ₂ O ₅	0,78 ±0,07	0,58 ±0,04*	0,92±0,07*
K ₂ O	0,90±0,10	0,71 ±0,09*	1,23 ±0,06*

* - $p \leq 0,05$ по відношенню до контролю

Таблиця 3. Висота листя пшениці на 15-ту добу пророщування при додаванні іонів кадмію у поживному середовищі на протязі 7-ми діб, мм, $M \pm m$, $n=15$

Table 3. The cheight of the leaves of wheat on 28-day in dermination when added under the action of cadmium ions during the 7-days, mm, $M \pm m$, $n=15$

Умови експерименту	Довжина листка на 15-ту добу	Довжина листкана 28-му добу
Контроль (розчин Кнопа)	148±12	178±14
10 ⁻⁴ М	103±9*	136±8*
10 ⁻⁷ М	113±8*	141±10*

* - $p \leq 0,05$ по відношенню до контролю

Зменшення вмісту нітрогену за дії іонів кадмію в концентрації 10⁻⁴ М може бути наслідком токсичного впливу цього металу на азотний метаболізм. Висока пластичність азотного метаболізму зернових культур є одним з найважливіших принципів пристосування рослин до дії важких металів, провідною компонентою в чому є зміна швидкості ферментативних реакцій [32, 33, 34].

За дії кадмію збільшується вміст вільних амінокислот у злакових рослинах [35, 36]. Синтез протеїногенних амінокислот в рослинах здійснюється за рахунок α -кетокислот в системі глутамат-синтеза/оксалоацетатамінотрансфераза [37], ключовими субстратами при цьому є піруват, оксалоацетат, α -кетоглутарат. Останні утворюються в реакціях, що каталізуються аспартат- та аланінаміно-трансферазами, продукти трансамінування яких використовуються при синтезі білків, амінуванні кетокислот та накопиченні глутаміну й аспарагіну. Показано, що в умовах впливу кадмію збільшується

активність вищезазначених ферментів азотного метаболізму [38]. Отже, вміст амінокислот індукується підвищеними дозами кадмію. Низькомолекулярні сполуки нітрогену, які акумулюються за стресових умов, виконують протекторні та регуляторні функції. Одним з пояснень збільшення загального пулу вільних амінокислот і низькомолекулярних пептидів за дії важких металів може бути також ліполіз [39].

Як показано в нашій роботі (табл. 1, 2), за дії кадмію за концентрації 10⁻⁴ М відбувається зниження вмісту фосфору в листі пшениці як на 15-ту добу проростання, в той час як за концентрації металу 10⁻⁷ М вміст фосфору збільшується, що може бути пов'язано з неоднаковим впливом досліджуваних концентрацій кадмію на вміст нуклеїнових кислот [40].

Результати наших досліджень показали зниження вмісту калію на 21-шу добу проростання за умов додавання іонів кадмію у концентрації 10⁻⁴ М

(табл. 1), а також на 28-му добу проростання за умов додавання іонів кадмію у концентрації 10^{-7} М. Отримані результати є аналогічними з даними авторів, які досліджували вміст цього елемента в умовах впливу кадмію в рослинах злакових культур, зокрема, в листках пшениці та кукурудзи [41], паростках рису [42], а також в цибулі [43]. Кобилицька М.С. та Терек О.І. [44] вивчаючи вміст макроелементів на 12-ту добу пророщування за дії хлориду кадмію у концентрації 10^{-6} М, також показали зменшення вмісту калію в пагонах кукурудзи. Зниження вмісту калію у пшениці в умовах стресу, спричиненого дією іонів кадмію може бути пов'язане з порушенням, під впливом важкого металу, транспортних функцій в клітині, оскільки калій є одним з важливих компонентів трансмембранного переносу іонів [45].

Як показано в табл. 2, вміст нітрогену та фосфору на 28-му добу пророщування на фоні обох концентрацій кадмію має подібну динаміку до рівня даних макроелементів на 15-ту добу пророщування (табл. 1), але спостерігається збільшення вмісту калію при концентрації кадмію 10^{-7} М, що може свідчити про залежність вмісту елементів мінерального живлення від концентрації важкого металу в середовищі пророщування. Збільшення вмісту калію за низької концентрації кадмію, ймовірно, пояснюється зміною активності АТФ-зи плазмалеми внаслідок адаптаційних процесів у фазі формування третього листка озимої пшениці.

Одним з основних і візуальних проявів фітотоксичності кадмію є гальмування росту рослин. У табл. 3 наведено результати дослідження довжини

листіків пшениці на 15-ту і 28-му добу пророщування в присутності іонів кадмію, що може бути пов'язано з його безпосередньою дією на мітотичну активність клітин [46], порушенням проникності мембран внаслідок збільшення активних форм оксигену [47], а також зі зниженням еластичності оболонки клітин, що обумовлено зв'язуванням іонів металу фітохелатинами [14].

Поряд із метал-індукованим пригніченням ростових показників в рослинах можуть розвиватися вільрадикальні процеси, внаслідок чого активуються процеси ліпопероксидації, зменшується вміст показників антиоксидантного статусу, що може вказувати на розвиток адаптаційних процесів [48]. Як доведено в експериментах, проведених з рослинами кукурудзи та сої за дії кадмію хлориду або кадмію нітрату у концентрації 10^{-4} та 10^{-5} М, вміст ТБК-активних продуктів збільшується, підвищується також вміст глутатіон-S-трансферази з одночасним зменшенням активності глутатіону [49, 50].

Висновки

Таким чином, у результаті проведених досліджень нами відмічено зменшення вмісту нітрогену, фосфору і калію в листі пшениці на 15-ту та 28-му добу проростання за умов додавання іонів кадмію у концентрації 10^{-4} М, в той час як при діючій концентрації металу 10^{-7} М вміст цих макроелементів збільшується. Показано збільшення вмісту калію на 28-му добу проростання за концентрації кадмію 10^{-7} М.

1. Церлинг В.В. Агротоксикологические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В.В. Церлинг. М.: Наука, 1978. – 216с.
2. Оптимізація мікроелементного живлення сільськогосподарських культур (рекомендації) / за ред. А.І. Фатеева. – Х. 2012. – 40 с.
3. Діагностика живлення озимої пшениці: методичні рекомендації / Бурикіна С.І. [та ін.] / – Одеса: СМІЛ, 2002. – 40 с.
4. Куперман Ф.М. Морфологія рослин / Ф.М. Куперман / М: Высшая школа, 1968. – 223 с.
5. Бухало В.Я. Програмування врожаїв сільськогосподарських культур: [посібник] / В.Я. Бухало, В.С. Залісовський, С.О. Садовий. – Х: Хар.нац.ун-т, 2009. – 98 с.
6. Sharma R.K. Biological effects of heavy metals: an overview / R. K. Sharma // J. Environmental Biological. – 2013. - Vol. 32. – P. 13-21
7. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель: методично-нормативне забезпечення / за заг. ред. В.П. Патики, О.Г. Татаріко. – К: Фітосоціоцентр, 2002. – С. 35 - 37
8. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас / пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
9. Жовинский Э.Я. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева. – К: Наукова думка, 2002. – 213 с.
10. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants / S. Clemens // Biochem. – 2012. – Vol. 88. – P. 1707 - 1719.
11. Sharma R.K. Biological effects of heavy metals: an overview / R.K. Sharma, M. Agrawal // J. Environ. Biol. – 2005. – Vol. 26 (3/4). – P. 1-13.
12. Demirevska-Kerova K. Cadmium stress in barley: growth, leaf pigment and protein composition and detoxification / K. Demirevska-Kerova, U. Feller // J. Plant Nutr. – 2006. – Vol. 29. – P. 451 - 468.
13. Казнина Н.М. Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений семейства *Poaceae* / Н.М. Казнина, А.Ф. Титов // Успехи современной биологии. – 2013. - Том 133, № 6. – С. 588-603.
14. Cobbett C.S. Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification / C.S. Cobett // Plant Physiol. - 2003. - Vol. 124. - P. 825 -832.
15. Liu H. Influence of iron plague on uptake and accumulation of Cd by rice (*Oryza sativa* L.) seedling grown in soil / H. Liu, J. Zhang, P. Christie // Sci. Total Environ. – 2008. – Vol. 394. – P. 361 - 368.
16. Hall J.L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance / J.L. Hall, L.E. Williams // J. Exp. Bot. – 2003. – Vol. 54. – P. 2601 - 2613.
17. Prasad M.N. Heavy metals in plants. From molecules to Ecosystems/ M.N. Prasad. – Germany: Springer, 1999. – 401 p.
18. Sheoran J.S. Effects of cadmium and nickel on photosynthesis and enzymes of the photosynthesis and enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) / J.S. Sheoran // Photosynth. Reseach J. – 1990. – Vol. 23. – P. 345 - 351.
19. Розпутній М.В. Вирощування високоякісного зерна озимої пшениці та аспекти раннього прогнозування білковості / М.В. Розпутній // Науковий вісник НАУ. – 1999. – № 5. – С. 265 - 268.
20. Treatment with salicylic acid decreased the effect of cadmium on photosynthesis in triticum plant / A. Krantev, R. Yordanova, T. Janda et al. // J. Plant Physiol. – 2008. – Vol. 165. – P. 920 - 931.

21. Gruszecki W.I. Changes in chlorophyll spectral characteristics in rye seedling grown under heavy metal stress / W.I. Gruszecki // Science Access. – 2013. – Vol. 17. – P. 1148 - 1151.
22. Mysliwa-Kurdziel B. Influence of Cd (II) on early steps of de-etiolation process in triticum: fluorescence spectral changes of photochlorophyllide and newly formed chlorophyllide / B. Mysliwa-Kurdziel, K. Strzalka // Agr. Ecosys. Environ. – 2004. – Vol. 106. – P. 199 - 207.
23. Shoefs B. Photochlorophyllide reduction: mechanisms and evolution / B. Shoefs, F. Frank // Photochem. Photobiol. – 2009. – Vol. 78. – P. 543 - 557.
24. Siedleska A. Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients / A. Siedleska // Acta Soc. Bol.Pol. – 1995. – Vol. 64, № 3. – P. 262 - 272.
25. Mihailovich N. Growth and ion uptake in wheat plants exposed to Cd and Ni depend on NO₃⁻ / NH₄⁺ ratio / N. Mihailovich // Botany Serbica. – 2013. – Vol. 34, № 1. – P. 15-20.
26. Фізіологія рослин: практикум / О.В.Войцеховська, А.В.Капустян, О.І. Косик [та ін.] / за ред. Т.В.Паршикової. – Луцьк: Терен, 2010. – С. 214.
27. Антипероксидатно-пероксидатний статус як критерій адаптації рослин до позаоптимальних факторів / Костишин С.С., Марченко М.М., Руденко С.С. // Фізіологія на межі тисячоліть. – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – Т. 2. – С. 52 - 66.
28. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник / В.О.Щенко, П.Г.Копитко, П.В.Костогрив, В.П.Опришко. – Вінниця: ПП "ТД Едельвейс і К", 2014. – 332 с.
29. Агрохімія. Аналіз рослин: [завдання та методичні вказівки до навчально-дослідної роботи] / В.В. Кулешов, М.К. Ключко, Г.Ф. Ольховський, М.М. Сірий. – Харків: ХНАУ імені В.В. Докучаєва, 1999. – 66 с.
30. Унгуряну Т.Н. Однофакторный дисперсионный анализ с использованием пакета статистической программы STATA: [практикум] / Т.Н. Унгуряну, А.М. Гржибовский // Экология//, 2014. – № 5. – С. 60-64.
31. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин / М. М. Мусієнко. – К: Фітосоціоцентр, 2001. – 392 с.
32. Романенков В.А. Принципы оптимизации азотного питания зерновых культур на уровне хозяйства / В.А. Романенков // Питание растений. – 2011. – № 2. – С.2-6.
33. Колупасв Ю.Е. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических факторов. – К: Основа, 2010. – 352 с.
34. Брей С. Азотный обмен в растениях. – М: Агропромиздат, 1986. – 200 с.
35. The changes of contents of selected free amino acid associated with cadmium stress in *Arabidopsis halleri* / V. Semakova, M. Pavlik, D. Pavlikova, P. Tlustos // Plant soil Environ. – 2013. – Vol. 59, № 8. – P. 417-422.
36. Кочмар Б. Ростові параметри та вміст проліну і триптофану в проростках пшениці *Triticum aestivum L.* / Б. Кочмар, М. Кобилецька // Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна. – 2010. – Вип. 52. – С. 185-191.
37. Lancien M. Enzyme redundancy and the importance 2-oxoglutarate in higher plant ammonium assimilation / M. Lancien, P. Gadal // Plant Physiol. – 2011. – Vol. 123. – P. 817-824.
38. Бездудная Е.Ф. Влияние солей тяжелых металлов на активность аминотрансфераз и интенсивность перекисного окисления липидов в прорастающих семенах сои (*Glycine max L.*) / Е.Ф. Бездудная // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: біологія. – 2007. – № 768. – С. 10-14.
39. Farooq M. Plant drought stress: effects, mechanisms and management/ M. Farooq, A. Wahid, N. Kobashi // Agron. Sustain. Develop. – 2009. - Vol. 29. – P. 185-212.
40. Mervot S. Improving thermo tolerance of wheat plant by foliar application of citric acid or nucleic acid / S. Mervot S., S. Orabi // Intern. J. Chem. Tech. Research. – 2015. – Vol. 8, № 1. – P. 111-123.
41. Responses of wheat (*Triticum aestivum L.*) and maize (*Zea mays L.*) of leaves to cadmium toxicity in relation to potassium nutrition / Slobodanka Pajevic [et al.] // Acta botanica Croatica, 2014. – Vol. 73. – № 2. – P. 359-373.
42. Ching Huei Kao. Cadmium stress in rice plants: influence of essential elements // Crop Environment and Bioinform. – 2014. – Vol. 11. – P. 113-118.
43. Тимочко І. Я. Дослідження вмісту макро- та мікроелементів у *Allium ursinum L.* у різних типах лісу / І.Я. Тимочко, О. М. Гриник // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України. – 2015. – Вип. 25.5. – С. 110-122.
44. Кобилецька М. С. Вплив іонів кадмію на вміст макро- і мікроелементів у рослинах кукурудзи / М.С. Кобилецька, О.І. Терек // Тематичний збірник Інституту екології Карпат НАН України Наукові основи збереження біотичної різноманітності. – Вип. 3. – Львів: Лів-Прес, 2001. – С. 186-189.
45. Influence of sulfur on cadmium (Cd) stress tolerance in *Triticum aestivum L.* / Gaafar Z. Abdek-Rhman, Ahmaar A. [et al.] // African J of Biotechnol, 2012. – Vol. 11. – № 13. – P. 10108-10114.
46. Rauser W.E. Structure and function of metal chelators produced by plants / W.E.Rauser // Cell Biochem. Biophys. - 1999. - Vol. 31. - P. 19-48.
47. Cadmium - induced increase of apoplastic ascorbate oxidase in barley roots / Tamas L., Vocova B., Huttova J et al. // Plant Crow Reg., 2009. – Vol. 48. – P. 41-49.
48. Колупасв Ю.Є. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических факторов. – К: Основа, 2010. – 352 с.
49. Хромих Н.О. Активність глутатіон-S-трансферази за комбіновано впливу високих температур та важких металів /Н. О. Хромих, В.С. Більчук// Вісник Дніпропетровського національного ун-ту. Біологія. Екологія. – 2009. – Вип. 17, т.2. – С. 122-126.
50. Сыщиков О.В. Содержание глутатиона у проростков кукурузы при действии кадмия / О.В. Сыщиков, В.Н. Гришко //Вісник Дніпропетровського національного ун-ту. Біологія. Екологія. – 2002. – Вип. 10, т.2. – С. 8-13

Отримано: 8 липня 2014 р.

Прийнято до друку: 9 вересня 2014 р.