

5. *Supplementary Guidance for Conducting Health Risk Assessment of Chemical Mixtures* (2000). – Washington [in English].
6. My'sly'va, T.M., & Onopriyenko, L.O. (2009). Vazhki metaly' v urboedafotopax i fitocenozaх nа tery'toriyi m. Zhy'tomyr'a [Heavy metals in urboedaphotopages and phytocoenoses in the territory of the city of Zhytomyr]. *Visny'k XNAU – Journal KhNAU*, 1, 89–95 [in Ukrainian].
7. Raxmany'n, Yu.A., Novy'kov, S.M., & Shashy'na, T.A. et al. (2004). *Rukovodstvo po ocenke ry'ska dlya zdorov'ya naseleny'ya pry' vozdeystvy'y' xy'my'chesky'x veshhestv, zagryaznyayushhy'x okruzhayushhuyu sredu [Guidelines for assessing the health risks of the public when exposed to pollutant chemicals]*. Moskva: Federalnyi tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii [in Russian].
8. Cherny'chenko, I.O., Ly'tvy'chenko, O.M., & Sovvertkova, L.S. (2013). Kancerogeny' u produktax xarchuvannya, ocinka nebezpeky' [Carcinogens in food, assessment of danger]. *Gigiyena naseleny'x miscz' – Hygiene of populated places*, 61, 156–163 [in Ukrainian].
9. *Determination of exposure and assessment of the risk of exposure to chemical contaminants of food products on the population* (2010). Moskva: Federalnyi tsentr gigiyeny i epidemiologii Rospotrebnadzora [in Russian].
10. Nakaz MOZ Ukrainy' «Pro zatverdzhennya gigiyenichnogo normaty'vu «Perelik rechovy'n, produktiv, vy'robny'chy'x procesiv, pobutovy'x ta pry'rodny'x faktoriv, kancerogeny'x dlya lyudy'ny'»: GN 1.1.2.123–2006. [Order of the Ministry of Health of Ukraine «On Approval of the Hygienic Standard» List of Substances, Products, Production Processes, Household and Natural Causes, Carcinogenic to Human Beings]. (n.d.). *zakon.rada.ua*. Retrieved from <http://zakon.nau.ua> [in Ukrainian]

УДК 581.5:633.15

СТІЙКІСТЬ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ДО СТРЕСОВОГО ВПЛИВУ ХРОМУ І НІКЕЛЮ НА ПОЧАТКУ ЮВЕНІЛЬНОГО ЕТАПУ РОЗВИТКУ РОСЛИН

В.М. Гришко, О.І. Лисенко

Криворізький ботанічний сад НАН України

Проаналізовано дані досліджень енергії проростання і лабораторної схожості гібридів кукурудзи за впливу $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ і NiSO_4 (за окремого і сумісного використання) у варіантах досліді: Cr^{3+} і Ni^{2+} у концентраціях 10^{-5} і 10^{-4} М/л; 10^{-5} Ni^{2+} + 10^{-5} Cr^{3+} ; 10^{-5} Ni^{2+} + 10^{-4} Cr^{3+} ; 10^{-4} Ni^{2+} + 10^{-5} Cr^{3+} і 10^{-4} Ni^{2+} + 10^{-4} Cr^{3+} М/л. Встановлено, що до першої групи відносяться гібриди (Тон 320 ВС, Престиж 365 МВ, Світ 400 МВ, Премія 190 МВ і Бліц 160 МВ), які проявляють високу металотолерантність. Для них характерна тенденція пригнічення проростання насіння до 10% лише високими концентраціями хрому як за окремого використання, так і на тлі високих концентрацій нікелю. Натомість мінімальні концентрації цих елементів, відповідно, не проявляють істотного фітотоксичного ефекту. До другої належать гібриди (Євро 401 СВ, Фонд 404 МВ і Маїс 226 МВ), що мають високу чутливість до іонів нікелю і хрому на початку ювенільного етапу розвитку (енергія проростання і схожість насіння знижується до 63 і 37% відповідно). Дія хрому і нікелю призводить до подовження у більшості ранньостиглих і середньостиглих гібридів кукурудзи початкових етапів проростання насіння. Загальною закономірністю є більша фітотоксичність хрому, ніж нікелю.

Ключові слова: кукурудза, гібриди, енергія проростання, схожість, хром, нікель, металотолерантність.

Переважає більшість важких металів проявляють різноспрямовану дію на рослини. Загальновідомий позитивний ефект

цинку, купруму, мангану, феруму є науковим підґрунтям для використання їх сполук як мікродобрив [1, 2]. Проте за концентрацій, що перевищують фізіологічні потреби рослин, вони проявляють токсич-

ний ефект і розглядаються як стресовий чинник [3–5].

Останніми роками підвищився інтерес до з'ясування ролі для рослин таких мікроелементів, як нікель і хром [6, 7]. Якщо стосовно нікелю є свідчення, що у концентраціях до $5 \cdot 10^{-5}$ М іони можуть позитивно впливати на проростання насіння деяких видів, то щодо хрому такі ефекти не встановлено [8–10]. Зважаючи на те що вказані елементи є одними з компонентів промислових викидів, а іони мають високу рухомість, виникає загроза їх надходження у небезпечних концентраціях до трофічних ланцюгів із продукцією рослинництва, яка вирощується поблизу промислових підприємств гірничорудної і металургійної промисловості. Так, у ґрунтах м. Кривий Ріг уміст хрому і нікелю у 6–8 разів перевищує їх кількість в орних землях області [11]. Крім того, активна транслокація хрому та нікелю до рослин можлива в ендемічних геохімічних провінціях, до яких, принаймні за нікелем, відноситься і регіон дослідження [12].

Проростання насіння є найуразливішою частиною ювенільного етапу індивідуального розвитку рослин, коли спостерігається мінімальна стійкість до дії несприятливих чинників. У науковій літературі здебільшого розглядаються питання впливу іонів важких металів на ріст рослин і їх продуктивність та перебіг фізіологічних процесів, тоді як різні ефекти їх комбінованої дії вивчено недостатньо [3, 6, 13]. З огляду на це, метою роботи було порівняння впливу окремої і сумісної дії іонів хрому та нікелю на проростання насіння кукурудзи.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

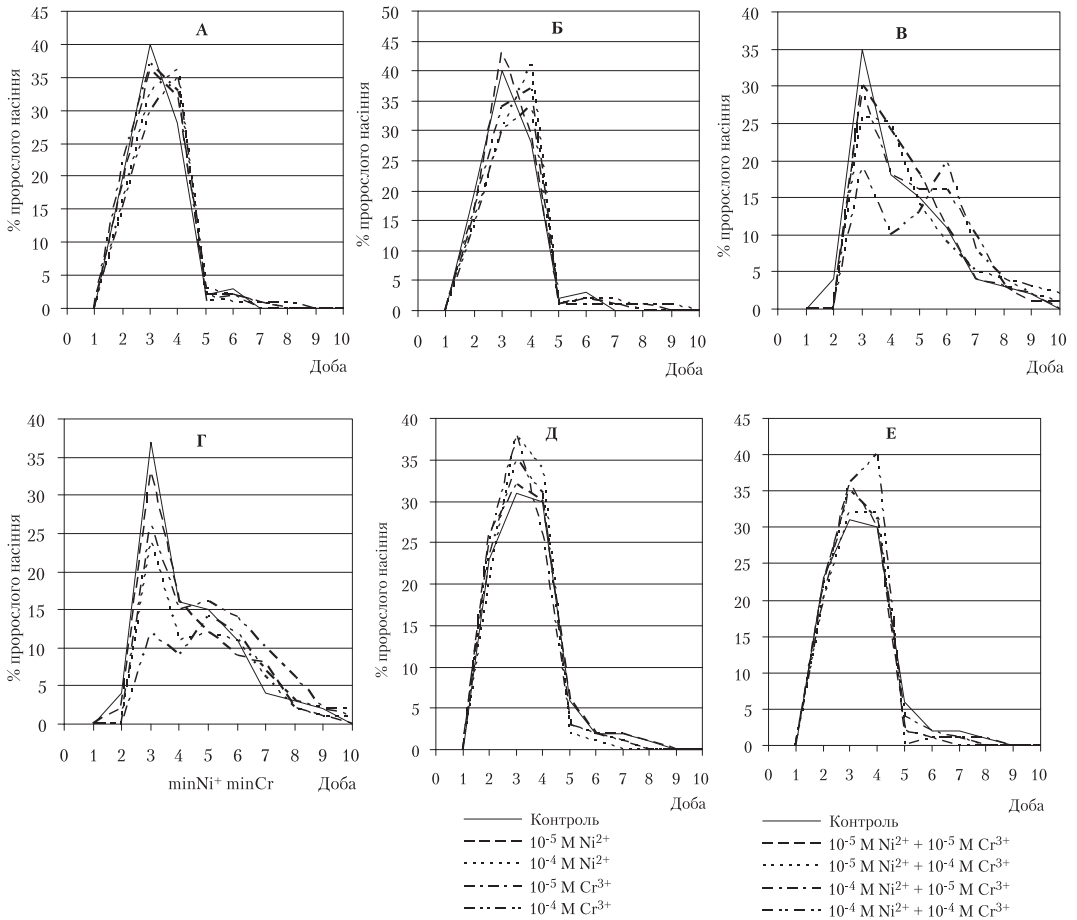
Об'єктами досліджень було насіння гібридів кукурудзи різних груп стиглості, районованих у степовій зоні України (ранньостиглі: Бліц 160 МВ, Премія 190 МВ; середньоранній – Маїс 226 МВ; середньостиглі: Тон 320 ВС, Престиж 365 МВ і середньопізні: Світ 400 МВ, Фонд 404 МВ і Євро 401 СВ), що надала НВФ «Компанія Маїс». Вплив як окремої, так і комбінованої дії водних розчинів сульфатів хрому (III)

і нікелю (II) вивчали у таких варіантах дослідів: Cr^{3+} і Ni^{2+} у концентраціях 10^{-5} і 10^{-4} М/л; $10^{-5} \text{Ni}^{2+} + 10^{-5} \text{Cr}^{3+}$; $10^{-5} \text{Ni}^{2+} + 10^{-4} \text{Cr}^{3+}$; $10^{-4} \text{Ni}^{2+} + 10^{-5} \text{Cr}^{3+}$ і $10^{-4} \text{Ni}^{2+} + 10^{-4} \text{Cr}^{3+}$ М/л, контролем була дистильована вода. Пророщування насіння кукурудзи та визначення енергії проростання і схожості проводили за ДСТУ 4138–2002 [14].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Отримані результати динаміки проростання насіння свідчать, що навіть мінімальні концентрації іонів нікелю та хрому як за окремого, так і за сумісного використання спричиняє зменшення кількості пророслих насінин на відповідну добу у всіх гібридів ранньої і середньопізньої груп стиглості (рис. – А, Б, В, Г). Слід наголосити, що у середньостиглих гібридів (Тон 320 ВС і Престиж 365 МВ) як максимальні, так і мінімальні концентрації хрому і нікелю стимулювали початок проростання насіння (рис. – Д, Е). Поряд із тим для середньостиглих гібридів за сумісної дії іонів важких металів найвища кількість пророслих насінин спостерігалась не на третю добу, як на контролі, а на четверту. Аналогічну закономірність встановлено і для ранньостиглого гібрида Премія 190 МВ як за окремого, так і за сумісного впливу іонів. Тобто дія хрому і нікелю спричиняє подовження у більшості ранньостиглих і середньостиглих гібридів кукурудзи початкових етапів проростання насіння (фази водопоглинання і бубнявіння) та гальмування початку фази росту первинних корінців, що, ймовірно, зумовлено затримкою поділу клітин кореневої меристеми.

Серед важливих показників, які характеризують адаптаційну спроможність рослин до стресових умов, є енергія проростання та схожість насіння. Проведені досліді надали можливість встановити певні загальні закономірності впливу іонів нікелю і хрому на гібриди кукурудзи на початку ювенільного етапу їх розвитку. Так, особливістю ранньостиглих і середньостиглих гібридів можна назвати подвійну тенденцію до змін показників енергії про-



Динаміка проростання насіння гібридів кукурудзи: Премія 190 МВ (А, Б); Євро 401 СВ (В, Г); Тон 320 ВС (Д, Е) за поодинокі (А, В, Д) та сумісної (Б, Г, Е) дії іонів хрому та нікелю

ростання насіння (табл.). У ранньостиглих гібридів (Премія 190 МВ і Бліц 160 МВ) енергія проростання статистично достовірно зменшувалась лише у варіантах за дії максимальної концентрації хрому та з максимальним умістом нікелю за комбінованої дії. Для середньостиглих сортів слід відзначити тенденцію до підвищення показника на 5–11%. За дії іонів хрому і нікелю встановлено статистично достовірне підвищення енергії проростання насіння гібрида Тон 320 ВС лише за мінімальних концентрацій обох металів. Натомість, схожість насіння гібридів цієї групи статис-

тично достовірно підвищується до 7% за дії лише іонів нікелю.

Порівняння ефектів, впливу іонів досліджуваних важких металів на схожість насіння засвідчило, що за комбінованої дії їх високих концентрацій зменшення показників схожості є суттєвішим, ніж за окремої. Поряд з тим слід зауважити, що серед ранньостиглих і середньостиглих були гібриди (Престиж 375 МВ і Бліц 160 МВ), на схожість насіння яких досліджені концентрації хрому і нікелю як за окремої, так і за сумісної дії статистично достовірно не впливали.

Аналіз результатів експериментів свідчить, що меншу металотолерантність, ніж

Показники схожості насіння гібридів кукурудзи за дії хрому і нікелю

Варіант дослідж., М/л	Енергія проростання, %		Схожість, %		Енергія проростання, %		Схожість, %	
	I*	II**	I	II	I	II	I	II
Гібрид	Тон 320 ВС				Престиж 365 МВ			
Контроль	82,8±5,7	-	93,3±0,9	-	93,3±2,5	-	94,8±2,5	-
10 ⁻⁵ Ni ²⁺	88,3±2,8	106,6	100±0,0***	107,2	89,3±2,5	95,7	94,8±1,9	100,0
10 ⁻⁴ Ni ²⁺	92,0±1,6	111,1	94,8±1,9	101,6	92,0±1,6	98,7	100,0±0,0***	105,5
10 ⁻⁵ Cr ³⁺	86,8±0,9	104,8	93,3±3,4	100,0	89,3±5,0	95,7	98,8±0,9	104,2
10 ⁻⁴ Cr ³⁺	89,3±5,0	107,9	94,8±3,8	101,6	86,8±0,9***	93,0	94,8±2,5	100,0
10 ⁻⁵ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁵ Cr ³⁺	96,0±2,8***	115,9	97,3±1,9***	104,3	94,8±2,5	102,0	98,8±0,9	104,2
10 ⁻⁵ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁴ Cr ³⁺	88,0±2,8	106,3	93,3±1,9	100,0	84,0±4,3	90,1	94,8±1,9	100,0
10 ⁻⁴ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁵ Cr ³⁺	88,0±4,3	106,3	96,0±2,8	102,9	88,0±4,3	94,3	94,8±3,8	100,0
10 ⁻⁴ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁴ Cr ³⁺	84,0±4,3	101,4	88,0±1,6***	94,3	85,3±2,5***	91,4	97,3±0,9	102,6
Гібрид	Премія 190 МВ				Бліц 160 МВ			
Контроль	88,0±1,6	-	93,0±1,9	-	88,0±1,6	-	96,0±0,8	-
10 ⁻⁵ Ni ²⁺	86,8±2,5	98,6	92,0±1,6	98,9	90,8±0,9	103,1	94,0±1,2	97,9
10 ⁻⁴ Ni ²⁺	85,3±2,5	96,9	90,8±1,9	97,6	84,0±2,8	95,5	97,3±1,9	101,4
10 ⁻⁵ Cr ³⁺	92,0±1,6	104,5	94,8±0,9	101,9	88,0±2,8	100,0	97,3±0,9	101,4
10 ⁻⁴ Cr ³⁺	80,0±3,3***	90,9	86,8±1,9***	93,3	73,3±3,4***	83,3	97,3±0,9	101,4
10 ⁻⁵ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁵ Cr ³⁺	90,8±2,5	103,1	94,8±0,9	101,9	88,0±3,3	100,0	97,3±1,9	101,4
10 ⁻⁵ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁴ Cr ³⁺	86,8±3,4	98,6	90,8±0,9	97,6	84,0±2,8	95,5	97,3±1,9	101,4
10 ⁻⁴ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁵ Cr ³⁺	88,0±1,6	100,0	90,8±1,9	97,6	89,3±0,9	101,5	96,0±0,8	100,0
10 ⁻⁴ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁴ Cr ³⁺	78,8±0,9***	89,5	84,0±2,8***	90,3	70,8±3,4***	80,5	94,8±1,9	98,8
Гібрид	Світ 400 МВ				Фонд 404 МВ			
Контроль	97,3±0,9	-	99,8±0,3	-	65,3±6,2	-	97,5±1,0	-

Закінчення таблиці

Варіант дослідж., М/л	Енергія проростання %		Схожість %		Енергія проростання %		Схожість %	
	I*	II**	I	II	I	II	I	II
10 ⁻⁵ Ni ²⁺	97,0±1,9	99,7	99,8±0,3	100,0	57,3±0,9	87,7	96,0±1,6	98,5
10 ⁻⁴ Ni ²⁺	89,3±2,5***	91,8	99,8±0,3	100,0	59,0±6,6	90,4	85,0±1,0***	87,2
10 ⁻⁵ Cr ³⁺	95,0±1,3	97,7	99,8±0,3	100,0	66,0±0,0	101,1	90,8±2,5***	93,1
10 ⁻⁴ Cr ³⁺	86,8±0,9***	89,2	92,5±1,7***	92,7	45,3±2,5***	69,4	76,0±1,6***	77,9
10 ⁻⁵ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁵ Cr ³⁺	97,0±1,9	99,7	99,8±0,3	100,0	52,0±4,3	79,7	89,0±1,0***	91,3
10 ⁻⁵ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁴ Cr ³⁺	96,0±1,6	98,7	99,5±0,5	99,7	49,3±3,8***	75,5	68,3±2,8***	70,1
10 ⁻⁴ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁵ Cr ³⁺	95,0±1,0	97,7	99,8±0,3	100,0	50,0±3,8***	76,6	75,0±1,9***	76,9
10 ⁻⁴ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁴ Cr ³⁺	88,0±1,6***	90,5	97,3±0,9***	97,5	39,5±5,2***	60,5	66,0±2,6***	67,7
Гібрид								
Євро 401 СВ								
Контроль	57,3±0,9	-	94,8±3,8	-	92,0±5,7	-	97,5±1,9	-
10 ⁻⁵ Ni ²⁺	54,0±1,2***	94,2	92,0±2,8	97,1	88,0±4,3	95,7	97,3±0,9	99,8
10 ⁻⁴ Ni ²⁺	53,3±1,9	93,0	85,0±1,9***	89,7	85,3±3,8	92,7	97,3±0,9	99,8
10 ⁻⁵ Cr ³⁺	47,0±2,5***	82,0	94,8±2,5	100,0	88,0±3,3	95,7	98,8±0,9	101,3
10 ⁻⁴ Cr ³⁺	29,5±1,9***	51,5	78,8±2,5***	83,1	72,0±1,6***	78,3	93,0±3,4	95,4
10 ⁻⁵ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁵ Cr ³⁺	41,3±2,5***	72,1	81,3±0,9***	85,8	86,8±3,8	94,3	93,3±0,9	95,7
10 ⁻⁵ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁴ Cr ³⁺	35,0±1,0***	61,1	68,0±1,6***	71,8	56,0±4,3***	60,9	85,3±1,9***	87,5
10 ⁻⁴ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁵ Cr ³⁺	49,3±3,8***	86,0	74,8±1,9***	78,9	69,3±5,0***	75,3	90,8±3,4	93,1
10 ⁻⁴ Ni ²⁺ + 10 ⁻⁴ Cr ³⁺	21,3±2,5***	37,2	60,0±4,3***	63,3	53,3±2,5***	57,9	73,3±6,2***	75,2
Маїс 226 МВ								

Примітка: * I – M±m; %; ** II – % до контролю; *** – статистично достовірна різниця відносно вихідного рівня.

гібриди перших двох груп, проявляв середньоранній гібрид Маїс 226 МВ. Так, енергія проростання його насіння за окремої максимальної концентрації хрому зменшувалась до 78%. За сумісної дії статистично достовірне пригнічення початкових етапів проростання спостерігалось за високих концентрацій іонів одного з металів і перевищувало значення для гібридів попередніх груп у середньому на 40%.

Серед середньопізніх гібридів найменша чутливість до сполук нікелю і хрому спостерігалась у гібрида Світ 400 МВ. Встановлене підтверджується зменшенням енергії проростання насіння як за окремої, так і за сумісної дії високих концентрацій елементів — до 10%, а схожості насіння — на 5%. Гібриди Фонд 404 МВ і Євро 401 СВ проявляли істотно меншу металорезистентність, ніж попередній. Так, під впливом максимальної концентрації іонів хрому за окремої дії енергія проростання насіння зменшувалась на 31 і 49% відповідно, до того ж для останнього гібрида встановлено статистично достовірне зменшення на 18% цього показника і за мінімальної концентрації хрому. Необхідно наголосити, що фітотоксичний ефект на початкових стадіях ювенільного етапу розвитку гібридів Фонд 404 МВ і Євро 401 СВ спостерігався і за мінімальних концентрацій іонів хрому та нікелю за їх комбінованого внесення і значно підвищувався у варіантах дослідів, коли використовувалась максимальна концентрація хрому. Наприклад, енергія проростання насіння гібрида Євро 401 СВ за сумісної дії хрому і нікелю у мінімальних концентраціях зменшувалась на 28%

порівняно з контролем, за максимальної концентрації нікелю і мінімальної хрому — на 39%, тоді як за максимального вмісту обох іонів — до 63%. Також додамо, що гібрид Євро 401 СВ проявляв істотно меншу металотолерантність серед інших досліджуваних, що підтверджується найнижчими показниками енергії проростання та схожості насіння — 37,2 та 63,3% порівняно з контролем відповідно.

ВИСНОВКИ

Серед гібридів кукурудзи вперше виділено дві групи за стійкістю до окремого та сумісного впливу іонів нікелю і хрому. До першої відносяться гібриди (Тон 320 ВС, Престиж 365 МВ, Світ 400 МВ, Премія 190 МВ і Бліц 160 МВ), які проявляють високу металотолерантність. Для них характерна тенденція пригнічення проростання насіння до 10% лише високими концентраціями хрому як за окремого використання, так і на тлі високих концентрацій нікелю. Натомість мінімальні концентрації хрому як за окремої дії, так і на тлі іонів нікелю не проявляють істотного фітотоксичного ефекту. До другої групи належать гібриди (Євро 401 СВ, Фонд 404 МВ і Маїс 226 МВ), що мають високу чутливість до іонів нікелю і хрому на початку ювенільного етапу розвитку (енергія проростання і схожість насіння знижується до 63 і 37% відповідно). Дія хрому і нікелю призводить до подовження на одну добу у більшості ранньостиглих і середньостиглих гібридів кукурудзи початкових етапів проростання насіння. Загальною закономірністю є більша фітотоксичність хрому, ніж нікелю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Власюк П.А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений / П.А. Власюк. — К.: Наукова думка, 1969. — 516 с.
2. Фатеев А.И. Основы применения микроудобрений / А.И. Фатеев, М.А. Захарова. — Х.: ННЦ «Институт грунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», 2005. — 134 с.
3. Заболоцька О.С. Реакція проростків пшениці озимої на дію мікроелементів (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+}) в умовах водної культури / О.С. Заболоцька, Н.М. Опанащук // Агроєкологічний журнал. — 2015. — № 4. — С. 90–96.
4. Гришко В.Н. Функционирование глутатион-зависимой антиоксидантной системы и устойчивость растений при действии тяжелых металлов и фтора / В.Н. Гришко, Д.В. Сыщиков. — К.: Наукова думка, 2012. — 238 с.
5. Качмар Б.Б. Ростові параметри та вміст проліну і триптофану в проростках пшениці *Triticum aestivum* L. за дії саліцилової кислоти і йонів кадмію / Б.Б. Качмар, М. Кобилецька, О.І. Терек // Вісник Львівського університету. — 2010. — Вип. 52. — С. 185–191. — (Серія: біологічна).

6. Chen C. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects / C. Chen, D. Huang, J. Liu // *Clean – soil, sir, water.* – 2009. – Vol. 37 (4–5). – P. 304–313.
7. Phytotoxic effect of heavy metals (Cr, Cd, Mn and Zn) on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and seedling growth in black cotton soil of Nanded, India / I.R. Shaikh, P.R. Shaikh, R.A. Shaikh, A.A. Shaikh // *Research journal of chemical sciences.* – 2013. – Vol. 3, No. 6. – P. 14–23.
8. Крылова Е.Г. Влияние сульфата никеля на прорастание семян в развитии проростков прибрежно-водных растений / Е.Г. Крылова // *Журнал Сибирского федерального университета.* – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 99–106. – (Серия: Биология.)
9. Gang A. A study of heavy metal toxicity on germination and seedling growth of soybean / A. Gang, H. Vyas, A. Vyas // *Sciences secure journal of biotechnology.* – 2013. – No. 2. – P. 5–9.
10. Soni K.V. Effect of chromium and manganese metal on biomass and growth rate of some pulses / K.V. Soni, B.D. Bhuvu // *International journal of pharma and bio sciences.* – 2015. – Vol. 6, No. 2 (B). – 67–78.
11. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна небезпека / В.М. Гришко, Д.В. Сищиків, О.М. Піскова та ін. – Донецьк: Донбас, 2012. – 303 с.
12. Жовинський Э.Я. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева. – К.: Наукова думка, 2002. – 213 с.
13. Кузьменко Є.І. Оцінка фітотоксичності важких металів в умовах моно- і поліелементного забруднення ґрунту / Є.І. Кузьменко, А.С. Кузьменко // *Агроекологічний журнал.* – 2013. – № 1. – С. 33–35.
14. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості: ДСТУ 4138–2002. – [Чинний від 2002–12–28]. – К.: Держстандарт України, 2003. – 170 с.

REFERENCES

1. Vlasjuk, P.A. (1969). *Biologicheskie elementy v zhiznedeiatelnosti rastenii [Biological elements in the life of plants]*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
2. Fateev, A.I., Zakharova, M.A. (2005). *Osnovy primeneniia mikroudobrenii [Fundamentals of microfertilizer application]*. Kharkov: NNTc «Institut gruntoznavstva ta agrokhimii imeni O.N.Sokolovskogo» [in Russian].
3. Zabolotska, O.S., Opanashchuk, N.M. (2015). Reaktsiia prorstokiv pshenytsi ozymoi na diiu mikroelementiv (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+}) v umovakh vodnoi kultury [The reaction of winter wheat sprouts to the influence of cuprum, zinc and nickel microelements in the conditions of the water cultures]. *Ahroekologichnyi zhurnal – Ahroecological journal*, 4, 90–96 [in Ukrainian].
4. Gryshko, V.M., Syshchikov, D.V. (2012). *Funktsionirovanie glutatiazionzavisimoi antioxiidantnoi sistemy i ustoiichivost rastenii pri deistvii tiashhelykh metallov i flora [Functioning of glutathionedependent system and plants resistance at heavy metals and fluorine action]*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
5. Kachmar, B.B., Kobyletska, M., & Terek, O.I. (2010). Rostovi parametry ta vmist prolinu i tryptofanu v prorstokakh pshenytsi *Triticum aestivum* L. za dii salitsylovoi kysloty i yoniv kadmiu [Growth parameters and content of proline and tryptophan in the seedlings of wheat *Triticum aestivum* L. under the action of salicylic acid and cadmium ions]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii biologichna – Visnyk of Lviv University. Biological series*, 52, 185–191 [in Ukrainian].
6. Chen, C., Huang, D., & J.Liu, D. (2009). Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Clean – soil, sir, water*, 37 (4–5), 304–313 [in English].
7. Shaikh, I.R., Shaikh, P.R., Shaikh, R.A., Shaikh, A.A. (2013). Phytotoxic effects of Heavy metals (Cr, Cd, Mn and Zn) on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed Germination and Seedlings growth in Black Cotton Soil of Nanded, India. *Research journal of chemical sciences*, 3, 6, 14–23 [in English].
8. Krylova, E.G. (2010). Vliianie sulfata nikelia na prorastanie semian v razvitie prorstokov pribrezhno-vodnykh rastenii [The Effect of Nickel Sulfate on Seed Germination and Development of Sprouts Pribrezhno-Water Plants]. *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Biologiia – Journal of Siberian federal university. Biology*, 3, 1, 99–106 [in Russian].
9. Gang, A., Vyas, H., Vyas, A. (2013). A study of heavy metal toxicity on germination and seedling growth of soybean. *Sciences secure journal of biotechnology*, 2, 5–9 [in English].
10. Soni, K.V., Bhuvu B.D. (2015). Effect of chromium and manganese metal on biomass and growth rate of some pulses. *International journal of pharma and bio sciences*, 6, 2 (B), 67–789 [in English].
11. Gryshko, V.M., Syshchikov, D.V., Piskova, O.M., Danilchuk, O.V., Mashtaler, N.V. (2012). *Vazhki metaly: nadkhodzheniia v ґруnty, translokatsiia u roslynakh ta ekolohichna nebezpeka [Heavy metals: entering to soils, translocation in plant and ecological danger]*. Donetsk: Donbass [in Ukrainian].
12. Zhovinskii, E.Ia, Kuraeva, I.V. (2002). *Geokhimiia tiashhelykh metallov v pochvakh Ukrainy [Geochemistry of heavy metals in the soils of Ukraine]*. Kiev: Naukova Dumka [in Russian].
13. Kuzmenko, Ye.I., Kuzmenko, A.S. (2013). Otsinka fitotoksychnosti vazhkykh metaliv v umovakh mono- i polielementnoho zabrudnennia ґруntu [Estimation phytotoxicity heavy metal in condition of mono- and poly element soil contamination]. *Ahroekologichnyi zhurnal – Ahroecological journal*, 1, 33–35 [in Ukrainian].
14. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti [Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality]. (2002). *DSTU 4138–2002 from 28th December 2002*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].