



Матеріали XXV Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство»
пам'яті д-ра Дмитра СТЕФАНІШИНА
(12 червня 2025 р., м. Київ, Україна)

Proceedings of the XXV International Science Conference
«Ecology. Human. Society»
dedicated to the memory of Dr. Dmytro STEFANYSHYN
(June 12 2025, Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2025.330364>

ВПЛИВ НАДЛИШКОВОГО ВМІСТУ ЦИНКУ В СЕРЕДОВИЩІ КУЛЬТИВУВАННЯ НА ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ПРОРОСТКІВ РОСЛИН ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ТА СТАН ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ В КЛІТИНАХ

Анастасія ФОМЕНКО¹, Оксана БОНДАРЕНКО^{1,2}

¹Київський палац дітей та юнацтва
вул. Івана Мазепи, 13, Київ, 01010, Україна

²Інститут фізіології рослин і генетики НАН України
вул. Васильківська, 31/17, Київ, 03122, Україна

e-mail: oks.yur.bondarenko@gmail.com

Анотація. В роботі досліджували стан проростків пшениці озимої в умовах високого вмісту важкого металу цинку в середовищі культивування. Проведено морфометричний аналіз 35-денних проростків та визначено стан фотосинтетичного апарату листків за вмістом хлорофілу та каротиноїдів. Надлишок цинку викликає у рослин стресову реакцію, прояви якої є підвищення вмісту захисних пігментів, зниження поглинання світла та електронного транспорту за рахунок руйнування СЗК 2. Зниження фотосинтетичної активності безперечно пов'язано із порушенням ростових процесів рослин. Це може призвести до зниження врожайності зернових культур, зокрема пшениці в даних районах. Тому перед відновленням агрономічної діяльності, ґрунти конче потребують очистки.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., пшениця озима, важкі метали, фотосинтетичний апарат, хлорофіл, каротиноїди.

Світовий показник концентрації цинку в верхньому шарі ґрунту коливається від 5 до 300 мг/кг [1]. В Україні вона становить 13-127 мг/кг, при чому збільшується від Полісся до степу та лісостепу [2]. Водорозчинними формами цинку в ґрунті є солі соляної (ZnCl_2), сірчаної (ZnSO_4) та азотної (ZnNO_3) кислот [3].

За нормальних концентрацій у середовищі цинк є незамінним елементом для підтримки гомеостазу рослин. Він входить до складу ферментів, за участі іонів цинку активізується синтез багатьох органічних речовин. Достатня кількість його в ґрунті обумовлює стійкість організму до посухи та температурних коливань, оскільки даний елемент впливає на процес синтезу фотосинтетичних пігментів та певним чином забезпечує стійкість пігмент-білкових комплексів. Активуючи карбоангідразу, цинк прискорює реакцію дегідратації в процесі фотосинтезу [4]. Цинк контролює синтез амінокислоти триптофану, яка є попередником ауксину, отже регулює ріст, розвиток органів та фототропізм. У нормі в сухій речовині рослини міститься близько 15-60 мг/кг цього елемента [5]. Відомі роботи по дослідженню співвідношення вмісту цинку в різних частинах рослинних організмів. Так, наприклад, співвідношення вмісту цинку в різних частинах організму пшениці озимої розподілене наступним чином: у коренях – 26,2%; у стеблі – 17%; у листках – 17,1%; у колосі – 23,9% [6].

Цинк входить до групи важких металів. За токсичністю він відноситься до другого класу небезпеки [4]. Надмірний вміст цинку суттєво пригнічує діяльність більшості ґрунтових мікроорганізмів [7]. Через антагоністичну дію, надлишок Zn пригнічує засвоєння купруму, фосфору та феруму рослиною [1, 3]. Сповільнюється ріст та розвиток організмів, виникає хлороз та некроз листків. Суттєво змінюється склад фотосинтетичного апарату.

Донедавна в Україні не було проблеми забруднення ґрунтів цинком. Але у зв'язку з розширенням територій ведення активних бойових дій, схід України, де переважає степовий та лісостеповий ландшафт, найбільш придатний для вирощування аграрної продукції, підпадає під зону забруднень важкими металами, зокрема і цинком. Відомі ранні роботи по дослідженню вмісту цинку в районах військових полігонів, а саме по проведенню аналізу ґрунтово-водного покриву окремих ділянок Яворівського полігону на вміст полютантів. Аналіз виявив істотне збільшення цього металу в ґрунтах. [8]. Окрім руйнації інфраструктури, дії агресора під час повномасштабного вторгнення мають нищівний вплив на аграрну галузь. За попередніми підрахунками Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, це спричинило збитків державі на понад 19 мільйонів гривень [9]. Обстріли, вибухи снарядів, робота ППО, розмінування територій та інші воєнні дії, окрім механічної та фізичної шкоди, спричинюють зміну хімічного складу ґрунтів. Воєнна діяльність супроводжується колосальними викидами важких металів, що пізніше осідають та накопичуються у ґрунті [10, 11]. Рослини здатні акумулювати сполуки з середовища, що робить їх непридатними для вживання в їжу тваринами або людиною. Надлишкова кількість важких металів та інших токсичних сполук в харчуванні призводить до появи злоякісних утворень, атеросклерозу, порушення апарату спадковості та зниження імунітету [11].

Постає проблема очищення даних територій від забруднень. Дослідження, які проводилися у численних науково-дослідних установах, довели здатність рослин поглинати із ґрунту мікроелементи, зокрема важкі метали, за рахунок активного контактного поглинання корінням, акумулюючи їх у власних тканинах або на поверхні листків [12]. Така можливість організмів може бути використана для біологічного очищення середовища існування рослин – фіторе mediaції. За аналізами: «з фінансової точки зору, біологічний спосіб реанімації ділянок є вигіднішим за хімічний та фізичний [11]. Вартість очищення 1 га потужністю 0,5 м ґрунту становить від 150 USD». Рослини, які були використані під час фіторе mediaційних заходів підлягають утилізації внаслідок високого вмісту в їхніх тканинах важких металів. Рослинну біомасу рекомендують спалювати, попередньо використовуючи відповідні засоби захисту атмосферного повітря, щоб запобігти поширенню токсичних речовин. У результаті шкідливі сполуки залишаються в попелі [10]. Для підбору видового різномаяття, задіяного в фіторе mediaції, важливо вивчення накопичення важких елементів в різних структурних частинах рослинних організмів.

Реакція зернових культур на забруднення ґрунтів ВМ є неоднаковою. Найбільш толерантними до них є пшениця та жито, озимі, овес, ячмінь. Жито характеризується найвищим адаптивним потенціалом, а ячмінь — найнижчим. Екологічно безпечний урожай зернових культур формується за вдвічі меншого вмісту ВМ у ґрунті від максимально допустимого рівня. Характерно, що найбільша їх кількість у цієї групи культур накопичується в кореневій системі та вегетативних органах [11]. Зерно ж можна використовувати для технічних цілей.

Для вирішення агроекологічних проблем з можливим використанням врожаю для технічних цілей, було вивчено можливості проростків пшениці існувати в середовищі із високою концентрацією солей цинку. Об'єктом дослідження нами було обрано пшеницю озиму сорту Одеська 267 в якості модельного представника однорічних зернових культур.

Насіння було висаджене на середовище Мурасіге-Скуга в лабораторних контрольованих умовах освітлення та температурного режиму.

Для експерименту було виготовлено три варіанти середовищ для культивування рослин: середовище Мурасіге-Скуга (МС), в якому концентрація сульфату цинку 8,6 мг/л (далі: «контроль»), середовище МС з підвищеним вмістом солі – 11,2 мг/л (далі: «МС+2,6 мг/л ZnSO₄»), та середовище МС з найбільшим вмістом сульфату цинку 13,8 мг/л («МС+5,2 мг/л ZnSO₄»).

Термін культивування коливався від 13 до 35 діб, оскільки метою дослідження було визначити тенденцію залежності показників фізіологічного стану проростків рослинних організмів від стану забруднення середовища.

По закінченню терміну росту рослин, організми було повністю відокремлено від решток середовища, де вони розвивались. Зайву вологу видаляли серветкою, рослини викладали на однотонному чорному фоні біля лінійки та робили фото. Пізніше за допомогою комп'ютерної програми MapInfo визначали довжину надземної частини та коренів рослин. Після цього за допомогою електронних вагів визначали масу окремо коренів та пагонів.

Для визначення пігментного складу методом Вельбурна у ДМСО (99,9 %, ACS) екстрагували пігменти з листків рослин. Рівень поглинання екстрактів пігментів вимірювали при довжинах хвиль 480, 649 та 665 нм на спектрофотометрі «Specord 200», США. Отримавши дані спектрофотометрії визначали пігментний склад фотосинтетичного апарату. Результати порівнювали між собою та з контрольними зразками. Статистичний аналіз проводили за стандартними програмами Microsoft Excel, середні значення розраховували за даними 3 дослідів по трьох аналітичних повторностях.

В ході досліджень відразу було візуально помічено різницю у швидкості росту і розвитку рослин. Очевидна була залежність швидкості проростання, росту і розвитку проростків від концентрації солі цинку в середовищі, на якому культивували організми. У варіантах зі збільшеною кількістю іонів цинку вже на перших етапах розвитку рослин спостерігали суттєве сповільнення швидкості проростання, особливо гальмування розвитку кореневої системи. Результати спостереження представлені на рисунку 1.

Через 35 діб культивування, було проведено морфометричний аналіз проростків пшениці та визначено пігментний склад фотосинтетичного апарату в листках. Результати метричного аналізу показали, що коренева система проростків, які культивовані на середовищі з додаванням надлишкових кількостей іонів цинку, була істотно недорозвиненою: співвідношення довжин коріння/пагін в контрольному варіанті $0,88 \pm 0,02$, в найбільш забрудненому (МС+5,2 мг/л ZnSO₄) - $0,28 \pm 0,05$, невисоке збільшення вмісту цинку в середовищі (МС+2,6 мг/л ZnSO₄) теж сповільнювало швидкість розвитку вегетативних органів проростків. З чого прогнозовано недостатність забезпечення рослин водою, значить і забезпечення потрібною кількістю поживних речовин. Цей факт може суттєво позначитись на здібності подальшого виживання рослинного організму. Паралельно визначали вагу пагонів та коренів досліджуваних рослин (див. Таблиця 1). Показники ваги коренів та пагонів також зазнали коливань в залежності від вмісту цинку в середовищі. Як і оцінка розмірів, вага частин рослин зменшувалась із підняттям рівня забрудненості.

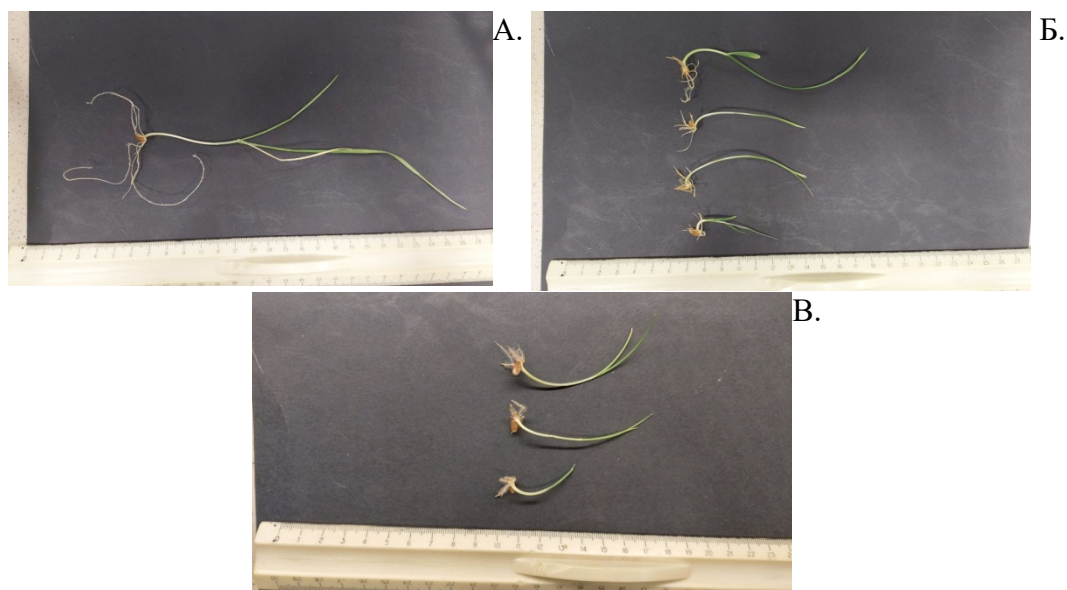


Рис. 1. Проростки рослин пшениці озимої сорту Одеська 267, які вирощені в середовищі МС та за різних домішок солей цинку в середовище культивування. А – контроль, середовище МС, Б – МС+2,6 мг/л ZnSO₄, В - МС+5,2 мг/л ZnSO₄

Табл. 1. Показники ваги коренів та пагонів

П а г і н			К о р і н ь		
контроль, г	МС+5,2 мг/л ZnSO ₄ , г	МС+2,6 мг/л ZnSO ₄ , г	контроль, г	МС+5,2 мг/л ZnSO ₄ , г	МС+2,6 мг/л ZnSO ₄ , г
0,103±0,017	0,046±0,006	0,054±0,004	0,049±0,006	0,018±0,002	0,038±0,006

Було проведено більш глибокий аналіз стану пігментного складу фотосинтетичного апарату листків проростків рослин пшениці, культивованих в запропонованих умовах. Результати розрахунків основних показників стану фотосинтетичного апарату досліджуваних рослин представлені в таблиці 2.

Табл. 2. Показники співвідношення основних пігментів фотосинтетичного апарату в листках пшениці озимої сорту Одеська 267, вирощених на середовищі Мурасіге-Скуга з різною концентрацією сульфату цинку

Концентрація ZnSO ₄ , мг/л	Співвідношення хлорофілів a/b	Співвідношення car/chl
Контроль	4,74±0,05	0,30±0,03
МС+2,6	5,33±0,03	0,34±0,06
МС+5,2 мг/л	5,66±0,08	0,81±0,07

За найвищого вмісту цинку в середовищі спостерігається суттєве збільшення вмісту каротиноїдів у порівнянні з відповідним контрольним зразком, що свідчить про перебування рослини у стресовому стані. Також помічено збільшення відношення хлорофілу a до b, що вказує на помітне зменшення хлорофілів b в пігментному складі світлозбирального комплексу 2.

Результати досліджень показали, що проростки рослин пшениці сорту Одеська 267 в умовах забруднення цинком мають слабо розвинену кореневу систему, що зменшує можливості надходження води та мінеральних речовин до рослини в засушливих районах сходу та півдня країни. Надлишок цинку викликає у рослин стресову реакцію, прояви якого є підвищення вмісту захисних пігментів – каротиноїдів для запобігання розвитку оксидативного стресу та зниження поглинання світла та електронного транспорту за рахунок руйнування СЗК 2. Зниження фотосинтетичної активності є причиною значного зниження ростових процесів рослин. Це може спрогнозувати зниження врожайності зернових культур, зокрема пшениці в даних районах. Тому перед відновленням агрономічної діяльності ґрунти конче потребують очистки. Фіторе mediaція – потім хліборобство.

Література

1. Кучерявий В. П. Екологія. — Львів : Світ, 2001. — 500 с.
2. Полянчиков С.; Логінова І.; Капітанська О. Менеджмент цинку та його значення для рослин // Агроном. — 2020. — Режим доступу: <https://www.agronom.com.ua/menedzhment-synku-ta-jogo-znachennya-dlya-roslyn/>
2. Цинк // Оптимізація живлення: мінеральне живлення. — Режим доступу: <https://pni.com.ua/optimizatsiya-zhivlennya/mineralnye-zhivlennya/cink/>
3. Леонідов М. П. Екотоксикологічна оцінка цинку у системі «агрохімікат — ґрунт — рослина» : магістерська кваліфікаційна робота. — 2024. — 43 с. — Режим доступу: <https://dglb.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/7a444068-ad65-4b3b-ba69-869f8d9fbe75/content>
4. Гнип Г. Цинк впливає на стійкість рослини до несприятливих умов та хвороб // AgroTimes. Агрономія. — 2019. — Режим доступу: <https://agrotimes.ua/agronomiya/czynk-vplyvaie-na-stijkist-roslyny-do-nespryyatlyvyh-umov-ta-hvorob/>
5. Чи можна вилікувати ґрунт від війни — відповіді на найпоширеніші запитання. — Режим доступу: <https://kurkul.com/spetsproekty/1423-chi-mojna-vilikuvati-grunt-vid-viyni--vidpovid-na-nauposhirenishi-zapitannya>
6. Довбаш Н. І. Використання техногенно-забруднених земель у агроландшафтах Лісостепу // Екологізація сталого розвитку інформаційного суспільства : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, студентів і аспірантів, 5–6 листоп. 2014 р. : тези доп. — Харків, 2014. — С. 85–88.
7. Андрієвська О. А. Геохімічний огляд розподілу цинку у компонентах ландшафтів поблизу військових полігонів України // Пошукова та екологічна геохімія. — 2009. — № 1. — С. 48–52. — Режим доступу: <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000127213>
8. Офіційний вебпортал Верховної Ради України. Новина Комітету. — Прес-служба Апарату Верховної Ради України, 02.03.2023. — Режим доступу: https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/233737.html
9. Вовк К. Як війна впливає на родючість ґрунтів та якість їжі. — Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/vijna-vplyvaie-na-grunty.html>
10. Балюк С. А.; Ладних В. Я.; Фатєєв А. І.; та ін. Рекомендації щодо запобігання забрудненню важкими металами ґрунтів та рослинної продукції в умовах зрошуваного землеробства // Аграрна наука — виробництво. — Київ, 2000. — С. 5–9.

**THE EFFECT OF EXCESS ZINC CONTENT IN THE CULTIVATION MEDIUM ON THE
MAIN PARAMETERS OF WINTER WHEAT SEEDLINGS AND THE STATE OF THE
PHOTOSYNTHETIC APPARATUS IN THE CELLS**

Anastasya FOMENKO

Kyiv Palace of Children and Youth

St. Ivana Mazepu, 13, Kyiv, 01010, Ukraine

Oksana BONDARENKO

Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine

St. Vasylykivska, 31/17, Kyiv, 03122, Ukraine

Kyiv Palace of Children and Youth

St. Ivana Mazepu, 13, Kyiv, 01010, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-6859-7136>

Abstract

The work investigated the state of winter wheat seedlings under conditions of high content of heavy metal zinc in the cultivation medium. Morphometric analysis of 35-day-old seedlings was carried out and the state of the photosynthetic apparatus of leaves was determined by the content of chlorophyll and carotenoids. Excess zinc causes a stress reaction in plants, the manifestations of which are an increase in the content of protective pigments and a decrease in light absorption and electron transport due to the destruction of LHC 2. A decrease in photosynthetic activity is the cause (or consequence) of a significant decrease in plant growth processes. This may predict a decrease in the yield of grain crops, in particular wheat in these areas. Therefore, before resuming agronomic activity, the soils urgently need to be cleaned.

Key words: *Triticum aestivum* L., winter wheat, heavy metals, photosynthetic apparatus, chlorophyll, carotenoids.