



УДК 581.1:631.811.98:546.81

## ПРОТЕКТОРНА РОЛЬ ІОНІВ ФЕРУМУ В РОСЛИН *BRASSICA JUNCEA* L. ЗА ДІЇ ПЛЮМБУМ АЦЕТАТУ

**О. І. Пацула<sup>1</sup>, О. Р. Гаранджа<sup>1</sup>, О.С. Філяк<sup>2</sup>, І. М. Микієвич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна  
e-mail: ostapp@gmail.com

<sup>2</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
вул. Клепарівська, 35, Львів 79000, Україна

Досліджено протекторний ефект іонів феруму різних концентрацій у рослин *Brassica juncea* L. за умов впливу плюмбум ацетату. Показано інгібуючий вплив плюмбуму на морфометричні показники рослин. Додавання у середовище іонів феруму у високій концентрації дещо стимулювало ріст цих рослин. Встановлено, що збільшення концентрації плюмбуму було причиною зниження вмісту хлорофілів у листках і, очевидно, обумовлене дефіцитом феруму. Відзначено антагоністичну взаємодію між іонами плюмбуму і феруму та показано, що токсичні ефекти плюмбуму значно знижуються за одночасного зростання концентрації феруму в середовищі. Вміст малонового діальдегіду та гідроген пероксиду в коренях і у пагонах зростає, порівняно з контрольними рослинами, на розчинах іонів металів, за сумісної дії з іонами феруму цей ефект частково нівелювався. Активність каталази зростала в усіх варіантах, порівняно з контрольними рослинами.

**Ключові слова:** *Brassica juncea* L., плюмбум, ферум, антиоксидантна система.

### ВСТУП

Протягом останнього століття антропогенний вплив на природу досягнув велетенських масштабів. У загальному балансі речовин, які забруднюють атмосферу, іони важких металів займають значний об'єм і розглядаються як глобальні забруднювачі. З огляду на це важливу роль відіграє з'ясування суті механізмів, що забезпечують адаптацію рослин до підвищених концентрацій іонів важких металів.

Рослини нагромаджують ці метали з ґрунту, і у великих кількостях вони здебільшого є токсичними для них. Деякі важкі метали є основними мікроелементами, зокрема, кобальт (Co), купрум (Cu), молібден (Mo), цинк (Zn), нікель (Ni), манган (Mn), ферум (Fe) у мікрокількостях необхідні для росту і розвитку рослин. Ці метали є кофакторами багатьох ферментів. Купрум входить до складу переносників електронів при фотосинтезі (пластоціаніну) і диханні (цитохром с оксидази), вклю-

чається в лігніфікацію. Цинк – кофактор супероксиддисмутази і карбоангідрази, бере участь у регулюванні метаболізму нітрогену, поділі клітин, біосинтезі гормонів, відіграє важливу роль у синтезі нуклеїнових кислот і білків. Ферум – компонент цитохромів, каталази, пероксидази, ферредоксину тощо. Манган – компонент кисневидільного комплексу, кофактор супероксиддисмутази, каталази, фосфоенолпіруваткарбоксилази [7]. Біологічна функція інших важких металів – плюмбуму (Pb), гідраргіуму (Hg), кадмію (Cd), бісмуту (Bi) досі ще не з'ясована. Їх токсична дія на рослини виявляється практично уже за слідових концентрацій.

Іони важких металів, залежно від концентрації, спричинюють цілу низку взаємозумовлених стресових реакцій рослин. Найбільш стійкими до стресового впливу іонів важких металів є насіння та проростки, бо останні на початку онтогенезу здебільшого живляться за рахунок ендогенних запасів ендосперму [15].

Одним із токсичних проявів важких металів є їх вплив на фотосинтетичну систему. Фотосинтетичний апарат рослин досить чутливий до підвищеного вмісту важких металів у навколишньому середовищі, що проявляється в зміні багатьох структурно-функціональних параметрів фотосинтезу [8]. Головною причиною зниження вмісту зелених пігментів у присутності важких металів є пригнічення біосинтезу хлорофілу, що пов'язане, в першу чергу, з безпосередньою дією металів на активність ферментів біосинтезу. Основними точками інгібування при цьому є утворення фотоактивного хлорофілідредуктазного комплексу та синтез  $\delta$ -амінолевулінової кислоти. Опосередкована дія металів на біосинтез хлорофілу пов'язана, як вважають, із дефіцитом феруму [14]. У дводольних рослин важкі метали можуть інгібувати  $\text{Fe}^{3+}$ редуктазу, яка відповідає за відновлення  $\text{Fe}^{3+}$  до  $\text{Fe}^{2+}$ . Це спричинює дефіцит феруму, який на фоні загального порушення фізіологічних процесів інгібує фотосинтез. Окрім зниження вмісту хлорофілу, дефіцит феруму, спричинений дією важких металів, знижує загальний пул ферум-вмісних переносників електронів у фотосинтетичному електрон-транспортному ланцюзі, що призводить до дезорганізації процесу транспортування електронів і нагромадження активних форм кисню (АФК). АФК, у свою чергу, провокують оксидативний стрес, що супроводжується підвищенням активності антиоксидантних систем [16].

Таким чином, пряма та непряма дія важких металів провокує у рослин розвиток численних порушень фізіологічних процесів, одними з яких є дефіцит феруму і його наслідки. Тому метою нашої роботи було дослідити вплив підвищених концентрацій іонів феруму в рослин *Brassica juncea* L. за умов стресу, спричиненого дією іонів плюмбуму.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження були рослини гірчиці (*Brassica juncea* L.) сорту Кароліна. Насіння пророщували протягом 3 діб у темному термостаті за температури  $+24^{\circ}\text{C}$ . Після цього проростки пересаджували на водний розчин Холанда – Арнона [10] з додаванням іонів металів у таких варіантах:  $100\text{ мкМ Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ;  $100\text{ мкМ Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 2\text{ мкМ FeCl}_3$  та  $100\text{ мкМ Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 100\text{ мкМ FeCl}_3$ . Контролем слугували рослини, вирощені на середовищі Холанда-Арнона без додавання плюмбум ацетату і ферум хлориду. Через 14 діб у дослідних і контрольних рослин проводили визначення морфометричних (довжина кореня, висота пагона та маса рослин) і фізіологічних показників (концентрацію пігментів, пероксиду водню та малянового діальдегіду, активність каталази).

Вміст хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів визначали у 80%-ному ацетоні за методом Хольм-Веттштейна [5]. Оптичну густину екстрактів вимірювали на спектрофотометрі при різних довжинах хвиль: 662 нм (для хлорофілу *a*), 644 нм (для хлорофілу *b*) та 440 нм (для каротиноїдів). Вміст пігментів фотосинтезу виражали в мг/г маси сирової речовини.

Активність перекисного окиснення ліпідів визначали за вмістом малонового діальдегіду (МДА) [5]. Даний метод базується на взаємодії МДА з 2-тіобарбітуровою кислотою, в результаті якої утворюється забарвлений продукт із максимумом поглинання при довжині хвилі 532 нм. Виражали в нмоль МДА/г сирової маси.

Для визначення активності каталази проводили гомогенізацію рослинного матеріалу в 50 мМ фосфатному буфері (рН 7,0) при +5°C. Гомогенат центрифугували на центрифугу "Brinkmann Apendorf" протягом 15 хв при 13 000 г за температури +5°C. Активність ферменту визначали у надосадовій рідині спектрофотометрично при 240 нм [8]. Реакційна суміш містила: 50 мМ фосфатний буфер, рН 7,0; 37,5 мМ  $H_2O_2$  та ферментний препарат. Визначену активність виражали у мкМ на мг білка за хв. Білок у ферментному препараті визначали за методом Бредфорда [13].

Вміст гідроген пероксиду визначали колориметрично у гомогенаті [10]. Екстракцію проводили так само, як і екстракцію каталази. Для визначення гідроген пероксиду до 1 мл супернатанту додавали 3 мл 0,1%  $Ti(SO)_4$ . Інтенсивність забарвлення визначали при 410 нм. Виражали вміст  $H_2O_2$  у мМ на г маси сирової речовини.

Усі досліді проводили у трикратній повторності. Достовірність даних і різниці між ними оцінювали за коефіцієнтом Стьюдента при рівні достовірності  $P < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

Іони важких металів істотно впливають на проходження всіх фізіологічних процесів, зокрема, на фотосинтез, дихання і мінеральне живлення. Однією з перших реакцій рослин на дію їх високих концентрацій є зниження морфометричних показників.

У результаті досліді встановлено, що рослини, які росли на водних розчинах плюмбуму ацетату і ферум хлориду, значно відрізнялися від контролю (див. таблицю) за морфометричними показниками. Показано, що довжина коренів рослин *Brassica juncea* L. знижувалася за дії іонів плюмбуму та суміші плюмбуму і феруму в низькій концентрації, причому іони плюмбуму з додаванням феруму хлориду в концентрації 2 мкМ спричинювали значне інгібування росту коренів.

За дії іонів феруму у високій концентрації ростові показники наближалися до рівня контролю. На нашу думку, це пояснюється тим, що ферум є біологічно важливим мікроелементом, його присутність у поживному середовищі нівелює токсичну дію плюмбуму й активує ростові процеси.

Щодо впливу іонів важких металів на висоту пагонів, то нами простежувалася подібна тенденція у їхньому впливі, як і у випадку довжини коренів. Так, у середовищі з 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$  та 2 мкМ  $FeCl_3$  висота пагонів становила  $29,28 \pm 0,07$  мм, а у контролі –  $39,59 \pm 0,18$  мм. За впливу 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$  та 100 мкМ  $FeCl_3$  висота пагонів була на рівні контролю –  $40,11 \pm 0,20$  мм.

Під час дослідження впливу важких металів на нагромадження маси сирової речовини рослин нами не було помічено достовірної різниці за дії обох металів (див. таблицю). Іони плюмбуму дещо знижували масу рослин, порівняно з контролем.

**Вплив  $Pb(CH_3COO)_2$  та  $FeCl_3$  у різних концентраціях на морфометричні показники рослин *Brassica juncea* L.**

**Effect of  $Pb(CH_3COO)_2$  and  $FeCl_3$  in different concentrations on the morphometric parameters of *Brassica juncea* L. plants**

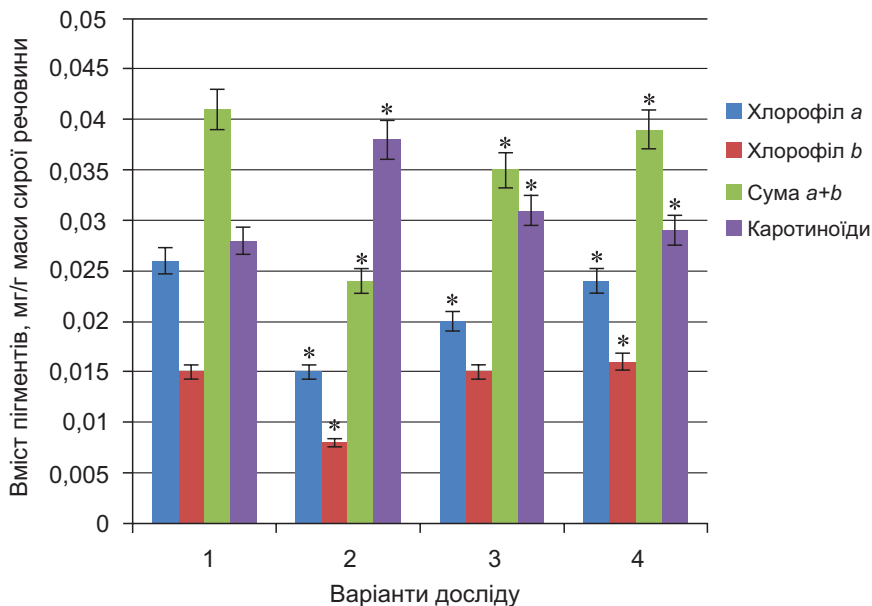
Варіанти досліджу	Морфометричні показники рослин		
	Довжина кореня, мм	Висота пагона, мм	Маса рослин, мг
Контроль	57,53±0,72	39,59±0,18	220,33±4,61
100 мкМ $Pb(CH_3COO)_2$	49,11±0,47	36,24±0,09	218,09±4,54
100 мкМ $Pb(CH_3COO)_2$ + 2 мкМ $FeCl_3$	43,10±0,29	29,28±0,07	202,32±5,07
100 мкМ $Pb(CH_3COO)_2$ + 100 мкМ $FeCl_3$	58,84±0,79	40,11±0,20	218,68±4,56

Одним із токсичних проявів дії важких металів на рослини є хлороз листків. Зменшення концентрації хлорофілу в листках рослин під впливом важких металів може бути наслідком як інгібування процесів біосинтезу ферментів, так і його руйнування. Цей ефект, ймовірно, пов'язаний із вільнорадикальними процесами, про що можна судити за утворенням продуктів пероксидного окиснення ліпідів [6].

Під час дослідження впливу іонів п्लомбуму на рослини *Brassica juncea* L. встановлено зниження кількості хлорофілів за умов їх присутності в середовищі (рис. 1). У літературі трапляються дані про те, що за дії важких металів, зокрема п्लомбуму, вміст хлорофілу *b* знижувався більш значною мірою, ніж хлорофілу *a* [2]. Ферум є необхідним елементом для біосинтезу хлорофілу, тому його дефіцит зумовлює зниження концентрації пігментів у листках, підвищення співвідношення хлорофілів *a/b* та інгібування фотосинтетичної активності у рослин *Pisum sativum* L. та *Zea mays* L. [7]. Показано, що додавання п्लомбуму в середовище було причиною зниження вмісту хлорофілів у листках та, очевидно, обумовлене дефіцитом феруму. Відзначено антагоністичну взаємодію між іонами п्लомбуму і феруму, показано, що токсичний ефект п्लомбуму на вміст пігментів значно знижується за одночасного зростання концентрації феруму в середовищі. Зокрема, за дії 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$  вміст хлорофілу *a* знижувався – 0,0150±0,0005 мг/г маси сирової речовини, у контролі – 0,0251±0,0007 мг/г маси сирової речовини. За сумісної дії 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$  та 100 мкМ  $FeCl_3$  концентрація хлорофілу *a* була на рівні контролю – 0,0244±0,0007 мг/г маси сирової речовини.

Вміст каротиноїдів за дії іонів п्लомбуму дещо знижувався. Іони п्लомбуму без присутності феруму спричинювали нагромадження цих пігментів. Враховуючи, що каротиноїди розглядаються як один із факторів, які забезпечують толерантність рослин до різних видів стресу, можна припустити, що зростання їх концентрації в наших дослідках пов'язане з їх захисною функцією.

Відомо, що надлишок важких металів у рослинних клітинах посилює перекисне окиснення ліпідів [1]. Утворення перекисів спричинює розриви молекул ДНК, виділення з клітин  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ , унаслідок пошкодження плазматичної та вакуолярної мембран. Ці порушення інгібують біосинтез хлорофілу, фотосинтетичну та дихальну активність і призводять до руйнування хлоропластів і мітохондрій. Активна перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) є неспецифічною реакцією рослинних організмів у відповідь на вплив несприятливих біотичних і абіотичних чинників різноманітного походження [15].



**Рис. 1.** Вплив  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  та  $\text{FeCl}_3$  у різних концентраціях на вміст фотосинтетичних пігментів у рослин *Brassica juncea* L.: 1 – контроль; 2 – 100 мкМ  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ; 3 – 100 мкМ  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  + 2 мкМ  $\text{FeCl}_3$ ; 4 – 100 мкМ  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  + 100 мкМ  $\text{FeCl}_3$ .

\* – статистично вірогідна різниця щодо контролю за  $p < 0,05$

**Fig. 1.** Dose-dependent effect of  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  and  $\text{FeCl}_3$  on the content of photosynthetic pigments in *Brassica juncea* L. plants: 1 – control; 2 – 100 μM  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ; 3 – 100 μM  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  + 2 μM  $\text{FeCl}_3$ ; 4 – 100 μM  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  + 100 μM  $\text{FeCl}_3$ .

\* – statistically significant difference relative to control  $p < 0.05$

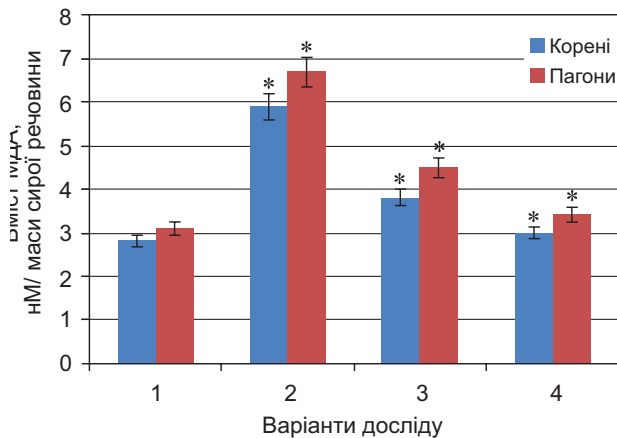
Результати наших досліджень свідчать, що іони плумбуму у високих концентраціях підвищують рівень ПОЛ у органах рослин *Brassica juncea* L. (рис. 2). У рослин, які росли на розчині  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ , вміст МДА у органах був найвищий, порівняно з контролем. Можна припустити, що зміни інтенсивності процесів ПОЛ пов'язані зі зміщенням антиоксидантно-прооксидантного співвідношення у клітинах, оскільки в окремих працях доведено кореляцію між активністю ПОЛ і активністю антиоксидантних ферментів [1, 12]. За сумісної дії плумбуму та феруму у високій концентрації вміст МДА помітно знижувався в усіх варіантах у пагонах і в коренях.

Одним із біоіндикаторів оксидативного стресу в рослин є гідроген пероксид. Накопичення цього метаболіту понад фізіологічну норму спричинює процеси перекисного окиснення ліпідів у рослин. Окрім того, гідроген пероксид є сигналом для активації захисних систем, активатором експресії генів і процесів, що призводять до формування стійкості у рослин [4].

Наші дослідження свідчать, що за наявності іонів плумбуму в поживному середовищі зростає концентрація гідроген пероксиду у рослин *Brassica juncea* L. (рис. 3). Особливо це спостерігається у коренях рослин, де вміст цього метаболіту зростав удвічі, порівняно із контролем.

Додавання у середовище іонів феруму дещо знижує вміст  $\text{H}_2\text{O}_2$ , хоча його концентрація у коренях була вищою, ніж у контрольних рослин. Такий високий вміст

гідроген пероксиду пояснюється збільшеними концентраціями іонів феруму в середовищі, що, як відомо, беруть участь в окисно-відновних процесах при диханні. Також гідроген пероксид є одним із первинних індукторів стрес-реакції рослинної клітини та важливим посередником у роботі сигнальних трансдукційних систем. При цьому він бере участь не лише в передачі зовнішнього сигналу до ядра та модифікації транскрипційних процесів, але, в першу чергу, координує дію клітинних компартментів для цілісної відповіді на стрес [3].



**Рис. 2.** Вплив  $Pb(CH_3COO)_2$  та  $FeCl_3$  у різних концентраціях на вміст малонового діальдегіду у рослин *Brassica juncea* L.: 1 – контроль; 2 – 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$ ; 3 – 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$  + 2 мкМ  $FeCl_3$ ; 4 – 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$  + 100 мкМ  $FeCl_3$ .

\* – статистично вірогідна різниця щодо контролю за  $p < 0,05$

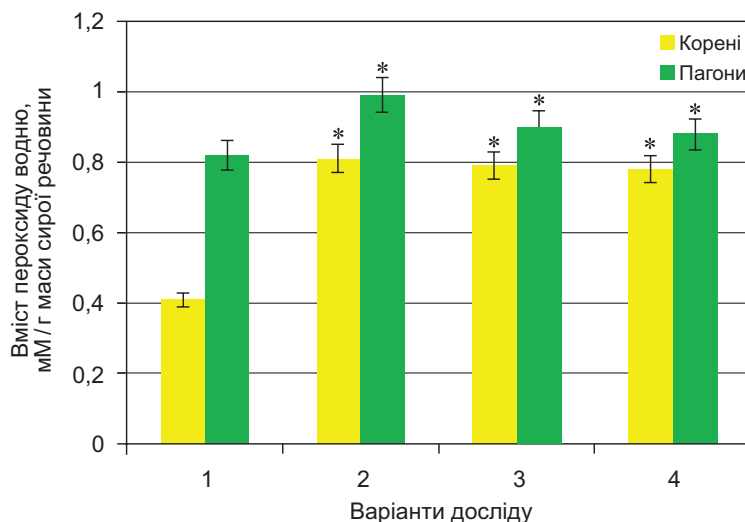
**Fig. 2.** Dose-dependent effect of  $Pb(CH_3COO)_2$  and  $FeCl_3$  on the content of malondialdehyde in *Brassica juncea* L. plants: 1 – control; 2 – 100  $\mu$ M  $Pb(CH_3COO)_2$ ; 3 – 100  $\mu$ M  $Pb(CH_3COO)_2$  + 2  $\mu$ M  $FeCl_3$ ; 4 – 100  $\mu$ M  $Pb(CH_3COO)_2$  + 100  $\mu$ M  $FeCl_3$ .

\* – statistically significant difference relative to control  $p < 0.05$

Внутрішньоклітинний вміст  $H_2O_2$  регулюється антиоксидантними ферментами, такими як каталаза, пероксидази. Каталаза – фермент класу оксидоредуктаз, виявлений майже у всіх еукаріотичних організмів, зокрема, у рослинних клітинах він локалізований в пероксисомах і цитозолі. За нормальних фізіологічних умов каталаза регулює вміст гідроген пероксиду в організмі, запобігає його токсичній дії, відіграє важливу роль у процесі старіння рослин [12].

Активність каталази у коренях і у пагонах змінювалась, порівняно з контрольними рослинами, за дії різних концентрацій іонів плюмбуму та феруму (рис. 4). У рослин, що росли на розчині  $Pb(CH_3COO)_2$ , активність каталази була найвищою, порівняно з контролем. Каталаза як один із ферментів антиоксидантного захисту бере участь у вилученні кисневих метаболітів і вільних радикалів. Тому підвищення активності каталази у рослинах може бути свідченням токсичної дії високих концентрацій іонів плюмбуму на рослини *Brassica juncea* L.

За сумісної дії плюмбуму та феруму активність каталази дещо наближалася до контролю в усіх варіантах у пагонах і в коренях.

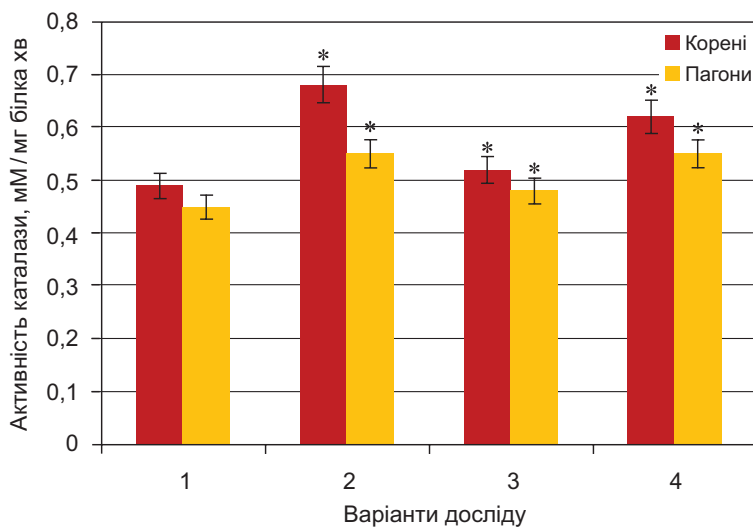


**Рис. 3.** Вплив  $Pb(CH_3COO)_2$  та  $FeCl_3$  у різних концентраціях на вміст пероксиду водню у рослин *Brassica juncea* L.: 1 – контроль; 2 – 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$ ; 3 – 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$  + 2 мкМ  $FeCl_3$ ; 4 – 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$  + 100 мкМ  $FeCl_3$ .

\* – статистично вірогідна різниця щодо контролю за  $p < 0,05$

**Fig. 3.** Dose-dependent effect of  $Pb(CH_3COO)_2$  and  $FeCl_3$  on the content of hydrogen peroxide in *Brassica juncea* L. plants: 1 – control; 2 – 100  $\mu$ M  $Pb(CH_3COO)_2$ ; 3 – 100  $\mu$ M  $Pb(CH_3COO)_2$  + 2  $\mu$ M  $FeCl_3$ ; 4 – 100  $\mu$ M  $Pb(CH_3COO)_2$  + 100  $\mu$ M  $FeCl_3$ .

\* – statistically significant difference relative to control  $p < 0.05$



**Рис. 4.** Вплив  $Pb(CH_3COO)_2$  та  $FeCl_3$  у різних концентраціях на активність каталази у рослин *Brassica juncea* L.: 1 – контроль; 2 – 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$ ; 3 – 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$  + 2 мкМ  $FeCl_3$ ; 4 – 100 мкМ  $Pb(CH_3COO)_2$  + 100 мкМ  $FeCl_3$ .

\* – статистично вірогідна різниця щодо контролю за  $p < 0,05$

**Fig. 4.** Dose-dependent effect of  $Pb(CH_3COO)_2$  and  $FeCl_3$  on the catalase activity in *Brassica juncea* L. plants: 1 – control; 2 – 100  $\mu$ M  $Pb(CH_3COO)_2$ ; 3 – 100  $\mu$ M  $Pb(CH_3COO)_2$  + 2  $\mu$ M  $FeCl_3$ ; 4 – 100  $\mu$ M  $Pb(CH_3COO)_2$  + 100  $\mu$ M  $FeCl_3$ .

\* – statistically significant difference relative to control  $p < 0.05$

## ВИСНОВКИ

Іони феруму в концентрації 100 мкМ є протекторним чинником у рослин *Brassica juncea* L. за умов впливу плюмбум ацетату. Плюмбум ацетат виявляв інгібуючий вплив на морфометричні показники рослин, тоді як додавання у середовище іонів феруму у високій концентрації дещо стимулювало ріст рослин. Концентрація каротиноїдів за сумісної дії іонів плюмбуму та феруму зростала. Вміст малонового діальдегіду, гідроген пероксиду й активність каталази в органах рослин за дії плюмбум ацетату зростали, порівняно з контрольними рослинами, за сумісної дії з іонами феруму цей негативний ефект частково нівелювався.

За умов сумісного впливу важких металів спостерігали зниження токсичного ефекту плюмбум ацетату на функціонування фотосинтетичної системи та рівень окисдантних реакцій у рослин *Brassica juncea* L. – вміст фотосинтетичних пігментів, гідроген пероксиду та малонового діальдегіду відновлювався до рівня контролю.

1. Бакун В., Пацула О., Терек О. Інтенсивність перекисного окиснення ліпідів у рослин соняшнику і ріпаку за дії трептолему в умовах токсичного впливу іонів цинку та міді. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.**, 2011; 55: 194–200.
2. Гущин А., Кукушкин А. Действие ионов Ni<sup>+2</sup> и Cd<sup>+2</sup> на замедленную флуоресценцию и фотосинтез листьев бобов. **Биофизика**, 1997; 42(2): 464–471.
3. Кияк Н. Вплив екзогенного пероксиду водню на стан перекисного окиснення ліпідів та активність ферментів антиоксидантного захисту моху *Fontinalis antipyretica* Hedw. **Чорномор. ботан. журнал**, 2008; 4(2): 244–248.
4. Колупаєв Ю., Карпець Ю. Кальційзалежний вплив пероксиду водню на теплостійкість колеоптилів *Triticum aestivum* L. **Укр. ботан. журнал**, 2007; 64(5): 713–717.
5. Мусієнко М., Паршикова Т., Славний П. **Спектрографічні методи в практичній фізіології, біохімії та екології рослин**. Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 200 с.
6. Таран Н., Оканенко О., Бацманова Л. та ін. Вторинний оксидний стрес як елемент загальної адаптивної відповіді рослин на дію несприятливих факторів довкілля. **Фізіологія і біохімія культ. растений**, 2004; 36(1): 3–12.
7. Толчій Н. Вплив важких металів на фотосинтез. **Фізіологія і біохімія культ. растений**, 2010; 42(2): 95–106.
8. Ali G., Srivastava P., Iqbal M. Influence of cadmium and zinc on growth and photosynthesis of *Vasopa monniera* cultivated *in vitro*. **Biologia Plantarum**, 2000; 43(4): 599–601.
9. Bisbis B., Kevers C., Penel C. et. al. Biosynthesis of tetrapyrrole-containing compounds, including peroxidases, in a non-chlorophylls' fully habituated sugarbeet callus via the unique shemin pathway. **Plant Peroxidases Newsletter**, 1998; 11: 19–26.
10. Li-Men C., Ching-Huei K. Effect of excess copper on rice leaves: evidence for involvement of lipid peroxidation. **Bot. Bull. Acad. Sin.**, 1999; 40: 283–287.
11. Hoagland D.R., Arnon D.I. The water-culture method for growing plants without soil. **Univ. Calif. Coll. Agric. Exp. Sta. Circ.** CA: Berkeley, 1938. 353 p.
12. Polidoros A., Scandalos J. Role of hydrogen peroxide and different classes of antioxidant in the regulation of catalase and glutathione-S-transferase gene expression in maize (*Zea mays* L.). **Physiologia Plantarum**, 1999; 106: 112–120.
13. Read S., Northcote D. Minimization of variation in the response to different proteins of the coomassie blue G dye-binding assay for protein. **Analytical Biochemistry**, 1981; 116(1): 53–64.
14. Sabajeviene G., Kviklys D., Duchovskis P. Rootstock effect on photosynthetic pigment system formation in leaves of apple CV. 'Auksis'. **Lithuanian Univ. Agric**, 2006; 25(3): 357–363.



15. *Schutzendubel A., Polle A.* Plants responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. **Journ. of Exp. Bot.**, 2002; 53(372): 1351–1365.
16. *Tagliavini M., Rombola A.* Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. **Eur. Journ. of Agronomy**, 2001; 15: 71–78.

---

## PROTECTIVE ROLE OF IRON IONS IN *BRASSICA JUNCEA* L. PLANTS FOR THE ACTION OF LEAD ACETATE

**O. Patsula<sup>1</sup>, O. Garandzha<sup>1</sup>, O. Filyak<sup>2</sup>, I. Mykiyevych<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine  
e-mail: ostapp@gmail.com*

<sup>2</sup>*Lviv State University of Vital Activity Safety, 35, Kleparivska St., Lviv 79000, Ukraine*

Protective role of iron ions in different concentrations on *Brassica juncea* L. plants under the exposure of lead acetate was studied. Inhibitory effect of lead ions on plants morphometric parameters was shown, iron ions in high concentrations slightly stimulated plant growth. It was found that increasing of lead concentration due to the reduction of chlorophyll content in leaves was caused by iron deficiency. Marked antagonistic interactions between lead and iron ions was shown, and that the toxic effects of lead were significantly reduced with a simultaneous increasing of iron concentration in medium. Under metal ions action MDA and hydrogen peroxide content in roots and shoots was increased compared to control plants, joint effect of iron ions partially decreased that effect. Catalase activity was increased in all experimental variants, compared to control plants.

**Keywords:** *Brassica juncea* L. plants, lead, iron, antioxidant system.

## ПРОТЕКТОРНАЯ РОЛЬ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА У РАСТЕНИЙ *BRASSICA JUNCEA* L. ПОД ВЛИЯНИЕМ АЦЕТАТА СВИНЦА

**О. И. Пацула<sup>1</sup>, О. Р. Гаранджа<sup>1</sup>, О. С. Филяк<sup>2</sup>, И. М. Мыкиевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Львовский национальный университет имени Ивана Франко  
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина  
e-mail: ostapp@gmail.com*

<sup>2</sup>*Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности  
ул. Клепаровская, 35, Львов 79000, Украина*

Исследован протекторный эффект ионов железа различных концентраций у растений *Brassica juncea* L. в условиях воздействия ацетата свинца. Показано ингибирующее влияние свинца на морфометрические показатели растений. Добавление в среду ионов железа в высокой концентрации несколько стимулировало рост этих растений. Установлено, что увеличение концентрации свинца было причиной снижения содержания хлорофиллов в листьях и, очевидно, обусловлено дефицитом железа. Отмечено антагонистическое взаимодействие между ионами свинца и железа, токсические эффекты свинца значительно снижаются при

одновременном росте концентрации железа в среде. Содержание малонового диальдегида и пероксида водорода в корнях и в побегах возрастало, по сравнению с контрольными растениями, на растворах ионов металлов, совместное действие с ионами железа частично нивелировало этот эффект. Активность каталазы возрастала во всех вариантах, по сравнению с контрольными растениями.

**Ключевые слова:** *Brassica juncea* L., свинец, железо, антиоксидантная система.

Одержано: 14.06.2013