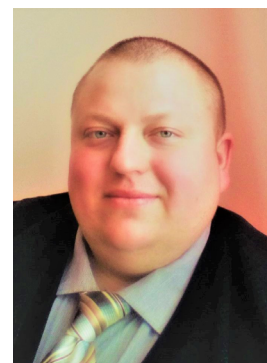


УДК 504.064:635.112/631.8
DOI 10.31395/2310-0478-2019-2-69-74



Снітинський В. В.,
доктор біологічних наук, професор, академік НААН,
ректор Львівського національного аграрного університету
(м. Дубляни), Україна



Дидів А. І.,
кандидат с.-г. наук, асистент,
Львівський національний аграрний університет (м. Дубляни),
Україна
E-mail: adydiv@gmail.com



Качмар Н. В.,
кандидат с.-г. наук, доцент,
Львівський національний аграрний університет (м. Дубляни),
Україна
E-mail: Kachmarnatali@ukr.net



Багдай Т. В.,
кандидат с.-г. наук, асистент,
Львівський національний аграрний університет
(м. Дубляни), Україна
E-mail: tvd6778@gmail.com

ВПЛИВ ЙОНІВ КАДМІЮ НА ФЕНОЛОГІЧНУ ДИНАМІКУ АКТИВНОСТІ ПЕРОКСИДАЗИ У ЛИСТКАХ *BETA VULGARIS* L. ЗА ВИКОРИСТАННЯ ДОБРІВ ТА МЕЛІОРАНТІВ

У статті наведено результати досліджень впливу йонів Cd^{2+} на фенологічну динаміку активності пероксидази у листках буряка столового (*Beta vulgaris* L.) за використання добрив та меліорантів в умовах польового модельного досліді. Доведено, що токсикодинаміка кадмію пов'язана з активністю пероксидази у листках буряка столового, як індикатора стресових станів рослин до фітотоксичної дії йонів Cd^{2+} . У роботі науково обґрунтовано, що активність пероксидази у листках буряка столового змінювалася за основними фазами розвитку і залежала від концентрації кадмію у рослинах, внесених добрив та меліорантів, а також від змодельованих рівнів забруднення ґрунту цим важким металом. Визначено, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм активність пероксидази у листках буряка столового збільшилась у всіх варіантах досліді. Виявлено середню за силою зв'язку кореляцію між концентрацією кадмію у рослинах *Beta vulgaris* L. та активністю пероксидази за фазами вегетації. Встановлено, що за внесення органічної та органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування ґрунту у нормі Біогумус 4,0 т/га + $CaCO_3$ 5,0 т/га та $N_{34}P_{34}K_{34}$ + Біогумус 2,0 т/га + $CaCO_3$ 5,0 т/га спостерігається найменша концентрація йонів Cd^{2+} у рослинах буряка столового на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту, що позитивно позначилося на ростових процесах, підвищенні урожайності та якості продукції.

Ключові слова: пероксидаза, йони кадмію, буряк столовий, вапнування ґрунту, система удобрення.

V. V. Snitynskyi,

Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAAS, Rector of Lviv National Agrarian University (Dubliany), Ukraine

A. I. Dydiv,

Assistant, Lviv National Agrarian University (Dubliany), Ukraine

N.V. Kachmar,

PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor, Lviv National Agrarian University (Dubliany), Ukraine

T.V. Bahday,

PhD of Agricultural Sciences, assistant, Lviv National Agrarian University (Dubliany), Ukraine

INFLUENCE OF CADMIUM IONS ON THE PHENOLOGICAL DYNAMICS OF PEROXIDASE ACTIVITY IN LEAVES OF *BETA VULGARIS* L. BY THE FERTILIZER AND MELIORANTS APPLICATION

An important role in the reactions of plants tolerance to conditions of environmental pollution with heavy metals plays an antioxidant enzyme system. One of the components of this system is peroxidase, whose activity varies depending on the effect of the factor on the plant organism. The article presents the results of studies on the effect of Cd^{2+} ions on the phenological dynamics of peroxidase activity in leaves of table beet (*Beta vulgaris* L.) by the fertilizer and meliorants application in the field model experiment. Proved, that toxicodynamics of cadmium linked to peroxidase activity in table beet leaves, as an indicator of stress conditions of plants to phytotoxic action of ions Cd^{2+} .

Research proved, that activity peroxidase in leaves of the table beet varied by main phases of plant development and

depended on the concentration of cadmium in plants, application of fertilizers and meliorants, as well as modeled levels of soil contamination with this heavy metal. It was determined that with increasing levels of simulated soil contamination of cadmium the activity of peroxidase in leaves of table beet increased in all variants of the experiment. Studies found that the least peroxidase activity observed in phase 4 pairs of true leaves, and the most active in the phase of closing of rows. Was detected an average correlation between cadmium concentrations in plants of *Beta vulgaris* L. and peroxidase activity by vegetation phases.

Research has found, that the application of organic and organo-mineral fertilizer system is compatible with liming of soil in norm Biohumus 4,0 t/ha + CaCO₃ 5,0 t/ha and N₃₄P₃₄K₃₄ + Biohumus 2,0 t/ha + CaCO₃ 5,0 t/ha celebrated lowest concentration of ions Cd²⁺ in table beet plants at all levels of modeled soil contamination. The use of such fertilizer systems in combination with liming had a positive effect on growth processes, increased yields and product quality. Depending on the change of peroxidase activity during the vegetation of table beet plants, one can learn about their resistance to Cd²⁺ ions, as well as the effectiveness of measures for detoxification of soil contaminated with heavy metals through the application of fertilizers and meliorants. Through the development and implementation of various systems of fertilizer combined with liming soil in specific soil and climate conditions can be reduced by 56-78% the accumulation of Cd²⁺ ions in plants table beet and get environmentally safe products.

Key words: peroxidase, cadmium ions, table beet, soil liming, fertilizer system.

Постановка проблеми. Впродовж останніх років спостерігається все більше посилення антропогенного навантаження на агробіоценози різноманітними поллютантами, зокрема важкими металами (ВМ), якими забруднено більше 20% орних земель України [13]. Токсичний вплив на рослини проявляють ВМ у ґрунті, що знаходяться в рухомій формі, які й визначають рівень небезпечності для рослин, зокрема овочевих, а відтак і для людини [15]. Фітотоксичність важких металів проявляється у зниженні урожайності, а саме головне – якості продукції [10].

В Україні велику популярність має буряк столовий (*Beta vulgaris* L.), проте його біологічна стійкість (толерантність) до токсичної дії йонів важких металів є незначною, що зумовлено генетично. Так, підвищені рівні рухомих форм Cd²⁺ у ґрунті здатні знижувати урожайність, а найважливіше якість коренеплодів буряка столового [5, 6].

Зміна у рослинах ферментативної активності значною мірою залежить від підвищених концентрацій у фотосинтезувальних тканинах активних форм кисню (АФК), які продукуються у відповідь на біотичні та абіотичні стресові чинники, серед яких можливі водний дефіцит, засолення, низька або підвищена температура, дія гербіцидів, радіації, інфекції патогенів, а також важких металів [7, 16]. АФК реагують з білками, ліпідами, нуклеїновими кислотами, ушкоджуючи структури мембран та макромолекул, що негативно впливає на проходження фізіологічних процесів у рослинах та формування їх продуктивності [8].

Визначне значення у нейтралізації АФК відіграє антиоксидантна система, що представлена комплексом низькомолекулярних антиоксидантних сполук, з поміж них пероксидаза відіграє важливу роль [3]. Стан антиоксидантної системи рослин та зміну її активності, як реакцію на стресові чинники, досліджували на різних сільськогосподарських культурах [18], проте зміни активності антиоксидантних ферментів у рослинах буряка столового за дії йонів Cd²⁺ є практично не вивченими.

Тому, нині актуальним питанням є вивчення антиоксидантної системи буряка столового за фенологічною динамікою активності пероксидази, а також розробка та застосування у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах безпечної системи удобрення у поєднанні з кальцієвими меліорантами, завдяки чому проходить швидкодіюча детоксикація ґрунту з відновленням його родючості, зниження нагромадження важких металів у рослинах, що в цілому сприяє одержанню екологічно безпечної продукції буряка столового [17].

Аналіз останні досліджень та публікацій. Серед важливих показників, що свідчать про рівень адаптації рослинних організмів до умов забруднення середовища різноманітними поллютантами є показники функціонування антиоксидантних ферментативних систем, зокрема пероксидази. Пероксидаза – фермент, який в першу чергу реагує на різні негативні впливи і виконує знешкоджувальну функцію щодо токсичних перекисних сполук та відіграє важливу роль в стійкості

рослин [2].

Пероксидаза має підвищену чутливість до зовнішніх впливів. Часто її розглядають як стресовий фермент [14]. Такі властивості пероксидази дозволяють використовувати її як маркер стресових станів рослин. Була показана можливість використання пероксидази для виявлення активації захисних механізмів рослин [19]. За зміною активності пероксидази можна судити про абіотичні стреси в агроекосистемах, які зазнають промислового забруднення [8, 18].

Метою статті було висвітлити результати досліджень впливу кадмію на фенологічну динаміку активності пероксидази у листках буряка столового за використання добрив та меліорантів.

Методика дослідження. В умовах Західного Лісостепу України на темно-сірих опідзолених ґрунтах досліджували вплив добрив та меліорантів на поведінку важких металів у системі «ґрунт-рослина», зокрема вивчали токсикодинаміку кадмію, яка пов'язана з активністю пероксидази в листках *Beta vulgaris* L. за фазами вегетації, як індикатора стресових станів рослин до фітотоксичної дії йонів Cd²⁺.

Буряк столовий (сорт Бордо Харківський) висівали у другій декаді травня в попередньо забруднений ґрунт важкими металами. Як забруднювачі використовували сіль CdCl₂, яку вносили водним розчином за змодельованих рівнів забруднення 1; 3; 5 ГДК (валових форм) окремо восени, а через два тижні вносили меліорант (вапнякове борошно) CaCO₃ у нормі 5,0 т/га (за гідролітичною кислотністю) згідно схеми досліду [4, 10]. При цьому виходили з даних [11, 15], що ГДК валових форм для Cd складає 3,0 мг/кг ґрунту. У контрольному варіанті солі кадмію не вносили. Навесні під культивування застосовували мінеральне добриво нітрамофоску марки 16:16:16 та органічне добриво Біогумус (продукт вермикюльтури) згідно схеми досліду, які занесені у Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні.

Схема мікроділянкового двофакторного досліду за вирощування буряка столового мала такі варіанти: 1) Контроль (без добрив); 2) N₆₈P₆₈K₆₈; 3) Біогумус 4,0 т/га; 4) N₃₄P₃₄K₃₄ + Біогумус 2,0 т/га; 5) N₆₈P₆₈K₆₈ + CaCO₃ 5,0 т/га; 6) Біогумус 4,0 т/га + CaCO₃ 5,0 т/га; 7) N₃₄P₃₄K₃₄ + Біогумус 2,0 т/га + CaCO₃ 5,0 т/га.

Облікова площа однієї мікроділянки – 2 м². Повторність досліду п'ятиразова, розміщення варіантів систематичне [1]. ґрунт дослідного поля темно-сірий сірий опідзолений легкосуглинковий в орному горизонті (0-20 см) характеризувався такими агрохімічними показниками: рНсол. – 5,4-5,6, гідролітична кислотність – 3,49-3,62 мг-екв/100 г ґрунту, сума увібраних основ – 11,0-12,2 ммоль/100г ґрунту, вміст гумусу – 2,29-2,32%, забезпеченість легкогідролізованим азотом – 118-124 мг/кг, рухомим фосфором – 97-110 мг/кг, обмінним калієм – 88-95 мг/кг. Технологія вирощування буряка столового загальноприйнята для умов Західного Лісостепу України.

Відбирали рослинні зразки столового за основними фенофазами розвитку та визначали концентрацію кадмію

методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії на приладі С115М [9]. Активність пероксидази (КФ. 1.11.1.7) у листках буряка столового визначали за методом А. Н. Бояркіна [12], що заснований на визначенні швидкості реакції окиснення бензидину під дією ферменту до утворення продукту окиснення синього кольору. Відбір рослинних зразків проводили за чотирма фенофазами: утворення 4 пар справжніх листків, пучкова стиглість, змикання рядків, технічна стиглість.

Основні результати дослідження. Програмою досліджень передбачалось дослідити фенологічну динаміку активності пероксидази у листках *Beta vulgaris* L. за дії йонів Cd^{2+} , а також виявити вплив добрив та меліорантів на адаптаційні властивості рослин буряка столового за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм.

За результатами трьохрічних досліджень було встановлено, що активність пероксидази в листках рослин *Beta vulgaris* L. динамічно змінювалася впродовж вегетаційного періоду і залежала від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм, а також від норм внесення добрив та меліорантів (рис. 1).

З'ясовано фенологічну динаміку активності пероксидази у листках буряка столового. Встановлено, що на контрольному фоні (варіант без добрив – контроль) на початку вегетації у фазі 4-х пар справжніх листків активність пероксидази була найменшою і становила 20,7 ммоль/г сирової маси за 1 хв. У фазі пучкової стиглості активність пероксидази зростає до 42,0 ммоль/г сирової маси за 1 хв. Найвищу активність пероксидази (92,7 ммоль/г сирової маси за 1 хв) відзначали у фазі змикання міжрядь. Проте на кінець вегетаційного періоду у фазі технічної стиглості активність пероксидази знизилась до 73,6 ммоль/г сирової маси за 1 хв. (Рис. 1).

Зазначимо, що у першому випадку підвищена активність пероксидази за внесення добрив і меліорантів на контрольному фоні у листках буряка столового свідчить про активізацію біохімічних процесів у рослинах, які позитивно реагували на елементи живлення, повноцінно розвивалися і збільшували свою вегетативну масу. У другому випадку підвищена активність пероксидази на змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм 1-5 ГДК зумовлена стресом рослин до фітотоксичної дії йонів Cd^{2+}

та їх намаганням компенсувати цей стан, застосувавши внутрішні захисні механізми антиоксидантної системи (рис. 1).

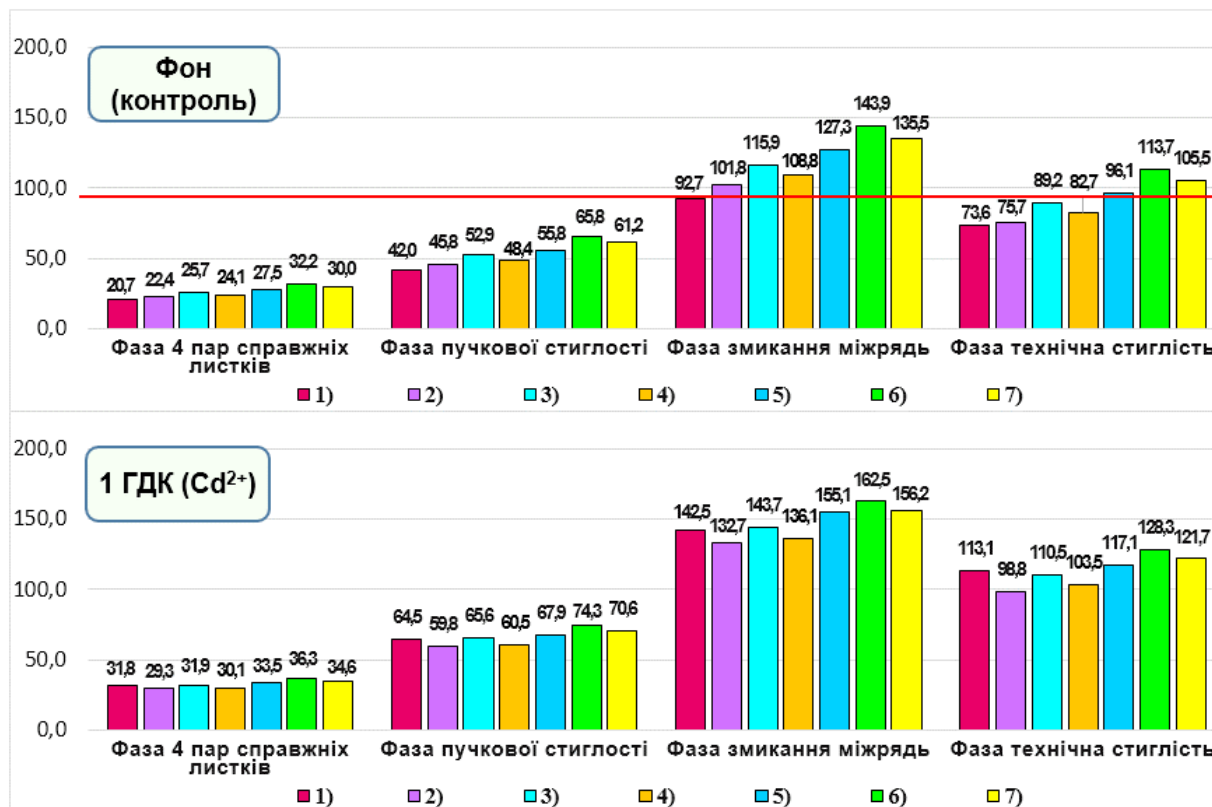
Отримані результати свідчать, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм від 1 до 5 ГДК збільшувалась і концентрація йонів Cd^{2+} у рослинах у всіх варіантах дослідження, а це позначилося на підвищенні активності пероксидази у листках буряка столового (рис. 1, табл. 1).

Встановлено, що на контрольному фоні у фазі змикання міжрядь найменшу активність пероксидази у листках буряка столового була виявлено в контрольному варіанті (без добрив) – 92,7 ммоль/г сирової маси за 1 хв, за концентрації Cd у листках – 0,056 мг/кг. Тоді як за рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК, активність пероксидази в контролі зростає до 197,7 ммоль/г сирової маси за 1 хв, за концентрації Cd у листках – 0,238 мг/кг. Виявлено, що концентрація кадмію у рослинах буряка столового мала тенденцію до зростання впродовж вегетаційного періоду у всіх варіантах дослідження і була найбільшою у фазі технічної стиглості (табл. 1).

Відзначимо, що на контрольному фоні за використання добрив і меліорантів у кожній фазі вегетації відзначали підвищену активність пероксидази та нижчі концентрації кадмію у листках буряка столового, порівняно з варіантом без добрив (контроль). Так, на контрольному фоні у фазі змикання міжрядь найбільшу її активність (143,9 та 135,5 ммоль/г сирової маси за 1 хв) відзначали за внесення добрив і меліорантів у нормі Біогумус 4 т/га + $CaCO_3$ 5 т/га та $N_{68}P_{68}K_{68}$ + Біогумус 4 т/га + $CaCO_3$ 5 т/га, за концентрації кадмію в листках 0,017 та 0,020 мг/кг маси сирової речовини.

Втім за внесення тих самих норм добрив і меліорантів (варіант 6-7), але на рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК активність пероксидази у фазі змикання міжрядь збільшилась до 174,8 та 170,4 ммоль/г сирової маси за 1 хв, а концентрація кадмію в листках становила 0,054 та 0,062 мг/кг маси сирової речовини.

Таким чином, найбільша активність пероксидази у листках буряка столового була за рівня змодельованого забруднення 5 ГДК в контролі (без добрив) у фазі змикання міжрядь, тоді як на контрольному фоні активність цього ферменту була найменша і залежала вона від концентрації



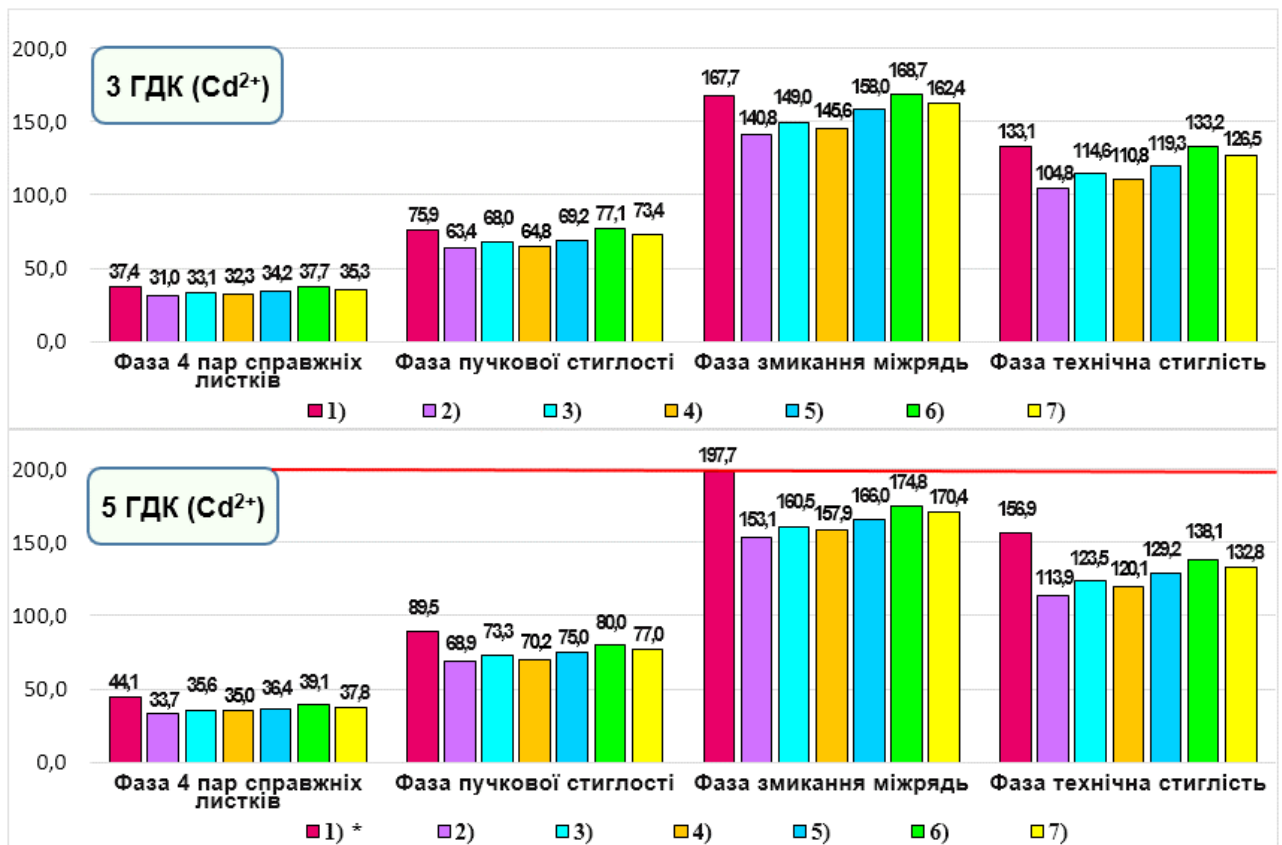


Рис. 1. Активність пероксидази в листках буряка столового за фазами розвитку залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, ммоль/г сирової маси за 1 хв

*Примітка: *1) Контроль (без добрив); 2) N₆₈P₆₈K₆₈; 3) Біогумус 4,0 т/га; 4) N₃₄P₃₄K₃₄ + Біогумус 2,0 т/га; 5) N₆₈P₆₈K₆₈ + CaCO₃ 5,0 т/га; 6) Біогумус 4,0 т/га + CaCO₃ 5,0 т/га; 7) N₃₄P₃₄K₃₄ + Біогумус 2,0 т/га + CaCO₃ 5,0 т/га.

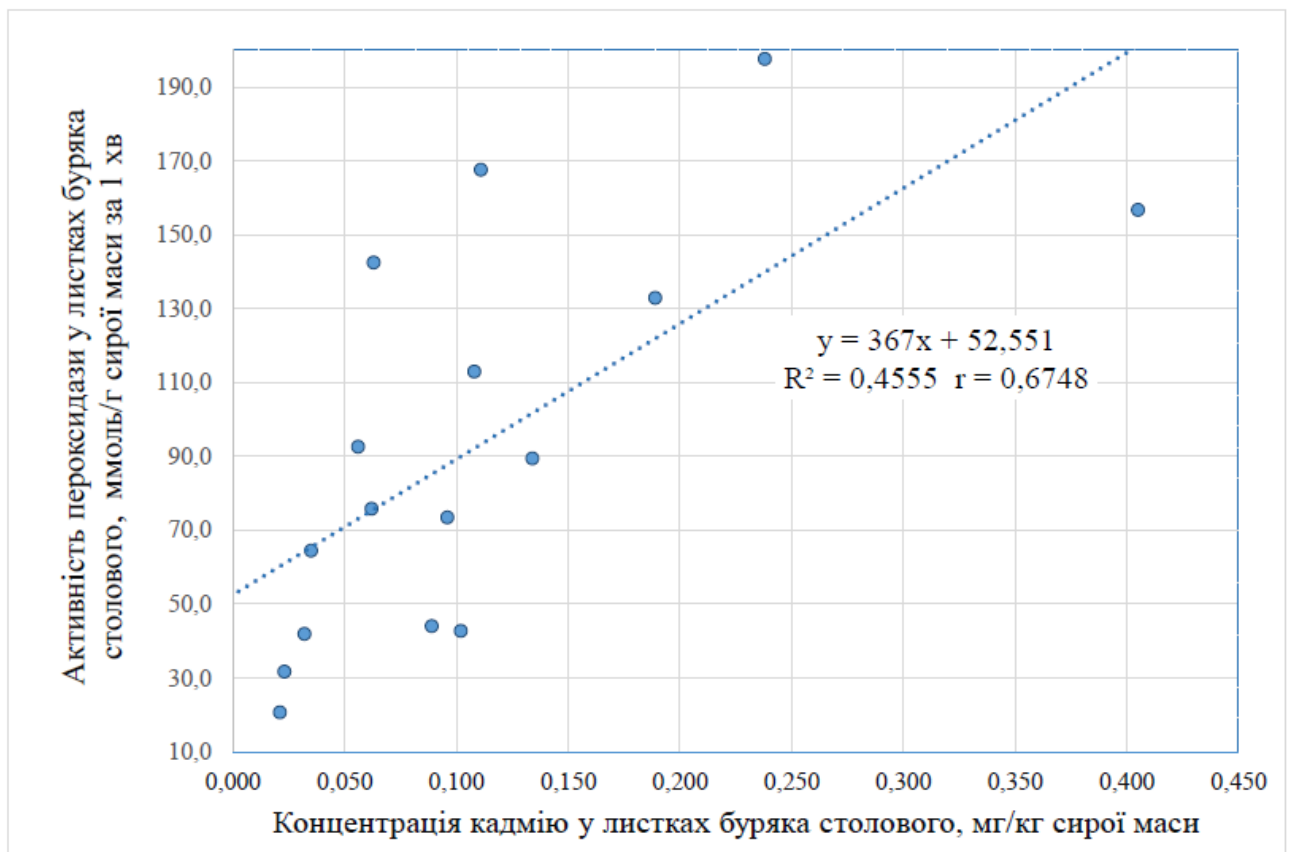


Рис. 2. Графік кореляційної залежності між концентрацією кадмію у листках буряка столового та активністю пероксидази за основними фазами вегетації залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цим металом

Таблиця 1
Активність пероксидази за фенофазами розвитку у листках буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, ммоль/г сирової маси за 1 хв

Варіант	Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм																														
	Фон (контроль)					1 ГДК (Cd ²⁺)					3 ГДК (Cd ²⁺)					5 ГДК (Cd ²⁺)															
	Фаза 4 пар справжніх листків	Фаза пучкової стиглості	Фаза зми-кання міжрядь	Фаза технічна стиглість	Фаза 4 пар справжніх листків	Фаза пучкової стиглості	Фаза змикання міжрядь	Фаза технічна стиглість	Фаза 4 пар справжніх листків	Фаза пучкової стиглості	Фаза зми-кання міжрядь	Фаза технічна стиглість	Фаза 4 пар справжніх листків	Фаза пучкової стиглості	Фаза змикання міжрядь	Фаза технічна стиглість	Фаза 4 пар справжніх листків	Фаза пучкової стиглості	Фаза змикання міжрядь	Фаза технічна стиглість	Фаза 4 пар справжніх листків	Фаза пучкової стиглості	Фаза змикання міжрядь	Фаза технічна стиглість	Фаза 4 пар справжніх листків	Фаза пучкової стиглості	Фаза змикання міжрядь	Фаза технічна стиглість	Фаза 4 пар справжніх листків	Фаза пучкової стиглості	Фаза змикання міжрядь
1) Без добрив (контроль)	20,7* 0,021	42,0 0,032	92,7 0,056	73,5 0,096	31,8 0,023	64,5 0,035	142,5 0,063	113,0 0,108	42,8 0,102	75,9 0,062	167,7 0,111	133,0 0,189	44,1 0,089	89,5 0,134	197,68 0,238	156,8 0,405															
2) N ₆₈ * K ₆₈	22,4 0,015	45,8 0,023	101,7 0,042	75,7 0,071	29,2 0,019	59,7 0,028	132,7 0,050	98,7 0,086	31,0 0,032	63,4 0,046	140,7 0,084	104,7 0,145	33,7 0,044	68,9 0,065	153,06 0,116	113,9 0,197															
3) Біогумус 4,0 т/га	25,7 0,010	52,9 0,015	115,9 0,026	89,2 0,045	31,8 0,016	65,6 0,025	143,6 0,044	110,4 0,075	33,0 0,022	68,0 0,033	148,9 0,060	114,5 0,103	35,6 0,033	73,3 0,052	160,5 0,091	123,5 0,155															
4) N ₃₄ * P ₃₄ * K ₃₄ + Біогумус 2,0 т/га	24,1 0,013	48,4 0,018	108,7 0,032	82,7 0,054	30,1 0,018	60,5 0,026	136,1 0,048	103,5 0,081	32,3 0,026	64,8 0,038	145,6 0,067	110,7 0,114	34,9 0,040	70,2 0,064	157,9 0,107	120,1 0,182															
5) N ₆₈ * P ₆₈ * K ₆₈ + CaCO ₃ 5,0 т/га	27,5 0,009	55,8 0,013	127,3 0,024	96,1 0,041	33,5 0,014	67,9 0,021	155,0 0,038	117,6 0,064	34,2 0,020	69,2 0,030	157,9 0,057	119,3 0,097	37,0 0,026	74,9 0,040	166,0 0,077	129,2 0,119															
6) Біогумус 4,0 т/га + CaCO ₃ 5 т/га	32,2 0,005	65,8 0,010	143,9 0,017	113,7 0,029	36,3 0,009	74,3 0,014	162,5 0,025	128,3 0,043	37,7 0,015	77,1 0,024	168,6 0,045	133,2 0,076	39,1 0,020	80,0 0,031	174,8 0,054	138,1 0,093															
7) N ₃₄ * P ₃₄ * K ₃₄ + Біогумус 2,0 т/га + CaCO ₃ 5 т/га	30,0 0,007	61,2 0,011	135,4 0,020	105,5 0,034	34,6 0,012	70,6 0,019	156,2 0,034	121,7 0,059	35,3 0,018	73,4 0,027	162,5 0,048	126,5 0,083	37,8 0,023	77,0 0,035	170,4 0,062	132,7 0,106															

*Примітка: *Чисельник – активність пероксидази у листках буряка столового, знаменник – концентрація кадмію у листках буряка столового, мг/кг маси сирової речовини.

іонів Cd²⁺ у рослинах *Beta vulgaris* L. Проте значний вплив на активність пероксидази мали внесені добрива та меліоранти, які зв'язували рухомі форми Cd²⁺ у ґрунті у малорозчинні стійкі комплекси, а це позначилося на зменшенні транслокації йонів кадмію у рослини буряка столового і як наслідок значно знизило їх стрес.

Крім того добрива та меліоранти забезпечили рослини буряка столового доступними елементами живлення, що забезпечило їх повноцінний ріст і розвиток впродовж періоду вегетації (табл. 1).

Встановлено, що за використання органічної (вар. 6) та орґано-мінеральної (вар. 7) систем удобрення на фоні вапнування фітотоксичність кадмію була найменшою, а рослини отримали значно менший стрес, який відобразився на стані антиоксидантної системи, що позначилося на їхньому рості і розвитку, а в підсумку – на урожайності і якості продукції.

Отримані результати досліджень підтверджують, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм зростала концентрація рухомих форм ВМ у ґрунті, відповідно посилилася транслокація йонів Cd²⁺ у рослини на всіх фазах вегетації, а це вплинуло на підвищення активності пероксидази в листках буряка столового, як внутрішньої захисної реакції антиоксидантної системи рослин до токсичної дії йонів кадмію.

На основі експериментальних даних проведено кореляційний аналіз у контрольному варіанті (без добрив) між концентрацією Cd²⁺ в листках буряка столового та активністю пероксидази за основними фазами вегетації (рис. 2).

За результатами кореляційного аналізу виявлено середню за силою кореляційну залежність ($r = 0,67$ при коефіцієнті детермінації $R = 0,45$) між концентрацією Cd²⁺ у листках буряка столового та активністю пероксидази за основними фазами вегетації.

Висновки. Важливу роль у реакціях толерантності рослин до умов забруднення навколишнього середовища важкими металами відіграє антиоксидантна ферментативна система. Однією із складових цієї системи є пероксидаза, активність якої змінюється в залежності від дії чинника на рослинний організм. За зміною активності пероксидази за фазами вегетації буряка столового можна дізнатись про внутрішній стан рослин та їх стійкість до дії йонів Cd²⁺, а також ефективність заходів з детоксикації ґрунту за використання добрив та меліорантів. З'ясовано, що токсикодинаміка кадмію пов'язана з активністю пероксидази в листках *Beta vulgaris* L., як індикатора стресових станів рослин до фітотоксичної дії йонів Cd²⁺. Виявлено, що активність пероксидази зростала із збільшенням концентрації йонів Cd²⁺ в листках буряка столового на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту цим металом при коефіцієнті кореляції $r = 0,67$.

Встановлено, що за внесення органічної системи удобрення на фоні вапнування ґрунту у нормі Біогумус 4,0 т/га + CaCO₃ 5,0 т/га та N₃₄P₃₄K₃₄ + Біогумус 2,0 т/га + CaCO₃ 5,0 т/га відзначали найменші концентрації йонів Cd²⁺ у рослинах буряка столового на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту, що позитивно позначилося на ростових процесах, збільшенні урожайності та підвищення якості продукції.

Література

- Бондаренко Г. Л., Яковенко К. І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві. Харків: Основа, 2001. 370 с.
- Виноградова Е. Н., Коршиков І. І. Сезонная динамика пероксидазной активности в листьях *Populus deltoids* Marsh. насаждений техногенно загрязненных территорий. Промышленная ботаника. 2012. Вып. 12. С. 161–166.
- Газарян І. Г., Шушупуляня Д. М., Тишков В. І. Особенности структуры и механизма действия пероксидазы растений. Успехи современной химии. 2006. Т. 46. С. 303–322.
- Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник. Київ: СІК ГРУП Україна, 2015.

- 376 с.
- Гуральчук Ж. З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. Київ: Логос, 2006. 208 с.
- Дидів А. Вплив добрив та меліорантів на якість коренеплідів буряка столового за забруднення ґрунту кадмієм. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: агрономія. 2017. Вип. 269. С. 234–241.
- Колупаев Ю. Е. Активные формы кислорода в растениях при действии стрессоров: образование и возможные функции. Вісник Харківського національного аграрного університету. 2007. Вип. 3 (12). С. 6–26.
- Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. Киев: Основа, 2010. 352 с.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продуктивных растениеводства. Москва: Гидрометеоздат, ЦИНАО, 1992. 61 с.
- Надточій П. П., Мислива Т. М., Вольвач Ф. В. Екологія ґрунту: монографія. Житомир: Видавництво "ПП Рута", 2010. 473 с.
- Патика В. П., Тараріко О. Г. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. Київ: Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.
- Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. Изд. 2-е., доп. перераб. Москва: Колос, 1976. 256 с.
- Рідей Н. М., Строкаль В. П., Рибалко Ю. В. Екологічна оцінка агробіоценозів: теорія, методика, практика. Херсон: Видавництво Олді – плюс, 2011. 258 с.
- Савич І. М. Пероксидазы стрессовые белки растений. Успехи совр. биологии. 1989. Т. 107. № 3. С. 406–417.
- Фатеев А. І., Самохвалова В. Л. Детоксикация тяжелых металлов у ґрунтової системи: методичні рекомендації. Харків: КП "Міськдрок", 2012. 70 с.
- Prasad T. K., Anderson M. D., Martin, B. A., Stewart C. R. Evidence for Chilling-Induced Oxidative Stress in Maiz Seedlings and a Regulatory Role for Hydrogen peroxide. Plant Cell. 1994. V. 6. P. 65–74.
- Snytnsky, V., Dydiv A. The mobility of cadmium and lead in soil and their impact on the quality of beetroot (*Beta vulgaris* L.) with different systems of fertilization. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu: seria rolnictwo. 2017. CXXII (625). Str. 87–98.
- Gill S. S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiol. Biochem. 2010. Vol. 48. P. 909–930.
- Veljovic-Jovanovic S., Kukavica B., Stevanovi B. Senescence- and drought-related changes in peroxidase and superoxide dismutase isoforms in leaves of *Ramonda serbica*. J. Exp. Bot. 2006. V. 57. P. 1759–1768.

References

- Bondarenko, H. L., Yakovenko, K. I. (2001). Research methodology in vegetables and melons growing. Kharkiv, 369 p. (in Ukrainian).
- Vinogradova Y. N., Korshykov Y. Y. (2012). Seasonal dynamics of peroxidase activity in the leaves of *Populus deltoids* Marsh. plantations of technologically polluted territories. Industrial botany. Vol. 12. P. 161–166. (In Russian).
- Hazarjan Y. H., Shushupulian D. M., Tyshkov V. Y. (2006). Structure and mechanism of action of plants peroxidase. The successes of modern chemistry. Vol. 46. P. 303–322. (In Russian).
- Hospodarenko H. M. Agrochemistry: textbook (2015). Kyiv: Ukraine JUICE GROUP, 376 p. (in Ukrainian).
- Huraldchuk, Zh. Z. (2006). Phytotoxicity of heavy metals and plant resistance to their actions. Kyiv, 208 p. (in Ukrainian).
- Dydiv A. (2017) Influence of fertilizers and ameliorants on the quality of beet root dining in case of soil contamination cadmium. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: agronomy. №. 269. P. 234–241 (in Ukrainian).
- Kolupaev Y. E. (2007). Active forms of oxygen in plants under the action of stressors: formation and possible functions. The bulletin of Kharkiv national agrarian university. Vol. 3 (12). P. 6–26. (In Russian).
- Kolupaev Y. E., Karpets Yu. V. Formation of adaptive plant responses to abiotic stressors action: monograph. Kyiv: Osnova, 2010. 352 p. (In Russian).
- Methodological guidelines on the definition of heavy metals in agricultural soils and crop growing production. Moscow: Gidrometeozdat, TSINAO, 1992. 61 p. (In Russian).
- Nadtochij P. P., Myslyva T. M., Volvach F. V. (2010). Soil Ecology: monograph. Zhytomyr: PP Ruta, 473 p. (in Ukrainian).
- Patyka V. P., Tarariko O. H. (2005). Agroecological monitoring and certification of agricultural land. Kyiv: Phytosociocenter, 296 p. (in Ukrainian).
- Pleshkov B. P. Workshop on Plant Biochemistry. Ed. 2n. reslave. Moscow: Kolos, 1976. 256 p. (In Russian).
- Ridei, N. M., Strokal, V. P., Rybalko, Yu. V. (2011) Environmental assessment of agrobiocenosis: theory, methodology, practice. Kherson, 2011. 258 p. (in Ukrainian).
- Savych Y. M. Peroxidase stressful plant proteins. (1989). The successes of modern biology. V. 107. № 3. P. 406–417. (In Russian).
- Fatieiev, A. I., Samokhvalova, V. L. Detoxification of heavy metals in soil system: methodical recommendations. Kharkiv, 2012. 70 p. (in Ukrainian).
- Prasad T. K., Anderson M. D., Martin, B. A., Stewart C. R. (1994). Evidence for Chilling-Induced Oxidative Stress in Maiz Seedlings and a Regulatory Role for Hydrogen peroxide. Plant Cell. V. 6. P. 65–74. (in English).
- Gill S. S., Tuteja N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiol. Biochem. Vol. 48. P. 909–930. (in English).
- Snytnsky, V., Dydiv A. (2017). The mobility of cadmium and lead in soil and their impact on the quality of beetroot (*Beta vulgaris* L.) with different systems of fertilization. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu: seria rolnictwo. 2017. CXXII (625). Str. 87–98. (in English).