Розділ 1

ЕКОЛОГІЯ

УДК 504.064:635.112/631.8

ФЕНОЛОГІЧНА ДИНАМІКА АКТИВНОСТІ ПЕРОКСИДАЗИ У ЛИСТКАХ *Brassica oleracea* var. *capitata* L. ЗА ДІЇ ЙОНІВ СВИНЦЮ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ І МЕЛІОРАНТІВ

В. Снітинський, д. б. н.

ORCID ID: 0000-0001-9633-1004

О. Дидів, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0003-4155-5945

А. Дидів, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-4436-9008

Н. Качмар, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0003-4471-5895

Т. Дацко, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-2957-1822

Львівський національний аграрний університет

<https://doi.org/10.31734/agronomy2020.01.005>

Снітинський В., Дидів О., Дидів А., Качмар Н., Дацко Т. Фенологічна динаміка активності пероксидази у листках *Brassica oleracea* var. *capitata* L. за дії йонів свинцю залежно від застосування добрив і меліорантів

Важливу роль у реакціях толерантності рослин до умов забруднення навколишнього середовища важкими металами відіграє антиоксидантна ферментна система. Одним із компонентів цієї системи є пероксидаза, активність якої змінюється залежно від впливу чинників на рослинний організм. У статті представлено результати досліджень щодо впливу йонів Pb^{2+} на фенологічну динаміку активності пероксидази у листках капусти білоголової (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) за використання добрив і меліорантів у польовому модельному експерименті. Доведено, що токсикодинаміка свинцю пов'язана з активністю пероксидази в листках капусти білоголової як індикатора стресових станів рослин до фітотоксичної дії йонів Pb^{2+} .

Отримані результати досліджень підтверджують, що активність пероксидази у листках капусти білоголової змінювалася за основними фазами розвитку й залежала від концентрації свинцю у рослинах, внесених добрив і меліорантів, а також від змодельованих рівнів забруднення ґрунту свинцем. Визначено, що зі збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем підвищувалася активність пероксидази у листках капусти білоголової у всіх варіантах дослідів. Встановлено, що найменшою активність пероксидази була у фазі формування 5–6 листків, а найбільшою – у фазі технічної стиглості капусти білоголової. Виявлена середня за силою кореляція між концентрацією свинцю у листках *Brassica oleracea* var. *capitata* L. та активністю пероксидази за основними фазами вегетації.

На основі проведених досліджень встановлено, що за використання органічної та органо-мінеральної систем удобрення у поєднанні з вапнуванням ґрунту у нормі Біогумус 8 т/га + $CaCO_3$ 5 т/га та $N_{64}P_{64}K_{64}$ + Біогумус 4 т/га + $CaCO_3$ 5 т/га концентрація йонів Pb^{2+} у рослинах капусти білоголової на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту була найнижчою. Застосування таких систем удобрення у поєднанні з вапнуванням ґрунту позитивно позначилося на ростових процесах, підвищенні врожайності та якості продукції. Залежно від зміни активності пероксидази під час вегетації рослин капусти білоголової можна дізнатися про їхню стійкість до йонів Pb^{2+} , а також про ефективність заходів із детоксикації ґрунту, забрудненого важкими металами за використання добрив і меліорантів. Завдяки розробці та впровадженню ефективних систем удобрення у поєднанні з вапнуванням ґрунту в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах можна зменшити в 1,6–3,8 раза, або на 38,2–73,9 %, нагромадження йонів Pb^{2+} у головках капусти білоголової та отримати екологічно безпечну продукцію.

Ключові слова: капуста білоголова, пероксидаза, йони свинцю, фенофази розвитку рослин, вапнування ґрунту, система удобрення.

Snitynskyi V., Dydiv O., Dydiv A., Kachmar N., Datsko T. Phenological dynamics of peroxidase activity in leaves of *Brassica oleracea* var. *capitata* L. under the influence of lead ions depending on the application of fertilizers and ameliorants

An important role in the reactions of plants tolerance to conditions of the environmental pollution with heavy metals is performed by an antioxidant enzyme system. Peroxidase is one of the components of this system, 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 Pb^{2+} ions on the phenological dynamics of peroxidase activity in leaves of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) under application of fertilizers and meliorants in the field model experiment. It is proven, that toxicodynamics of lead linked to peroxidase activity in white cabbage leaves, as an indicator of stress conditions of plants in response to phytotoxic action of ions Pb^{2+} .

The results of the studies confirm that peroxidase activity in the leaves of white cabbage varied by main phases of plant development and depended on the concentration of lead in plants, application of fertilizers and meliorants, as well for modeled levels of soil contamination with this heavy metal. It was determined that increasing levels of simulated soil contamination caused the activity of peroxidase in leaves of white cabbage increased in all variants of the experiment. The studies found that the least peroxidase activity was observed in the phase of formation of 5-6 leaves, and the most active - in the phase of technical maturity of white cabbage. The research detected that an average correlation between the lead concentrations in plants of *Brassica oleracea* var. *capitata* L. and peroxidase activity by major phases of vegetation.

The research confirmed, that application of organic and organo-mineral fertilization system is compatible with liming of soil in the norm Biohumus 8.0 t/ha + $CaCO_3$ 5.0 t/ha and $N_{64}P_{64}K_{64}$ + Biohumus 4.0 t/ha + $CaCO_3$ 5.0 t/ha celebrated lowest concentration of ions Pb^{2+} in white cabbage plants at all levels of the modeled soil contamination. The use of such fertilization 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 white cabbage plants, one can learn about their resistance to Pb^{2+} ions, as well as the effectiveness of measures for detoxification of the soil, contaminated with heavy metals through the application of fertilizers and meliorants. Development and implementation of effective fertilization systems, combined with liming soil in specific soil and climate conditions, can be reduced by 1.6–3.8 times or 38.2–73.9 % the accumulation of Pb^{2+} ions in heads of white cabbage and get environmentally safe products.

Key words: white cabbage, peroxidase, lead ions, phenophases of plant development, soil liming, fertilization system.

Постановка проблеми. Сьогодні спостерігаємо збільшення антропогенного навантаження на агробіоценози різноманітними поллютантами, зокрема важкими металами (ВМ), якими забруднено понад 20 % орних земель України [12]. Токсичний вплив на рослини проявляють ВМ у ґрунті, що перебувають в рухомій формі, які й визначають рівень небезпечності для овочевих рослин, а відтак і для людини [16]. Фітотоксичність важких металів проявляється у зниженні урожайності, а основне – якості продукції [5; 9; 14].

Капуста білоголова (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) – широко розповсюджена в Україні овочева культура. Проте біологічна стійкість (толерантність) цієї рослини до токсичної дії йонів важких металів є незначною, що зумовлено генетично.

Зміна у рослинах ферментативної активності значною мірою залежить від підвищених концентрацій у фотосинтезуючих тканинах активних форм кисню (АФК), що продукуються у відповідь на біотичні та абіотичні стресові чинники, серед яких можливі водний дефіцит, засолення, низька або підвищена температура, дія пестицидів, радіації, інфекції патогенів, а також токсичний вплив важких металів [6; 18]. Активні форми кисню реагують з білками, ліпідами, нуклеїновими кислотами, ушкоджуючи структури мембран та макромолекул, що негативно впливає на проходження фізіологічних процесів у рослинах та формування їхньої продуктивності [7].

Неабияку роль у нейтралізації АФК відіграє антиоксидантна система, що представлена комп-

лексом низькомолекулярних антиоксидантних сполук [3]. Стан антиоксидантної системи рослин та зміну її активності як реакцію на стресові чинники досліджували на різних сільськогосподарських культурах [7; 13; 17], проте зміни активності антиоксидантних ферментів у рослинах капусти білоголової за дії йонів Pb^{2+} є практично невивченими. Тому сьогодні актуальними залишаються дослідження антиоксидантної системи капусти білоголової за фенологічною динамікою активності пероксидази, а також розробка й застосування у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах ефективної та безпечної системи удобрення у поєднанні з кальцієвими меліорантами, завдяки якій відбуваються швидкодіюча детоксикація ґрунту, підвищення його родючості, зниження нагромадження важких металів у рослинах, що загалом сприяє одержанню екологічно безпечної продукції капусти білоголової [15].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливими показниками, що свідчать про рівень адаптації рослинних організмів до умов забруднення середовища різноманітними поллютантами, є показники функціонування антиоксидантних ферментативних систем, зокрема пероксидази. Пероксидаза – фермент, який насамперед реагує на різні негативні впливи і виконує знешкоджувальну функцію щодо токсичних перекисних сполук та відіграє важливу роль у стійкості рослин [2].

Відомо, що пероксидаза має підвищену чутливість до зовнішніх впливів. Часто її розглядають

як стресовий фермент [13]. Такі властивості пероксидази дають змогу використовувати її як маркер стресових станів рослин. Ферментативну активність пероксидази також застосовують для виявлення активації захисних механізмів рослин [19]. За зміною активності пероксидази можна судити про абіотичні стреси в агроєкосистемах, які зазнають промислового забруднення [7; 17].

Постановка завдання. Для досягнення поставленої мети ставили завдання: з'ясувати, як впливає свинець на фенологічну динаміку активності пероксидази у листках капусти білоголової за використання добрив і кальцієвих меліорантів; встановити кореляцію між концентрацією Pb^{2+} у листках капусти білоголової та активністю пероксидази за основними фенологічними фазами вегетації як індикатора стресових станів рослин до токсичної дії йонів свинцю.

Виклад основного матеріалу. В умовах Західного Лісостепу України на темно-сірих опідзолених ґрунтах досліджували вплив добрив та меліорантів на поведінку ВМ у системі «ґрунт-рослина», зокрема вивчали токсикодинаміку свинцю, яка пов'язана з активністю пероксидази в листках *Brassica oleracea* var. *capitata* L. за основними фазами вегетації.

Капусту білоголову (сорт Ярославна) висівали у третій декаді квітня в попередньо забруднений ВМ ґрунт. Як забруднювач використовували сіль $Pb(CH_3COO)_2$, яку вносили водним розчином за змодельованих рівнів забруднення 1; 3; 5 ГДК (валових форм) окремо восени, а через два тижні вносили меліорант (вапнякове борошно) $CaCO_3$ у нормі 5 т/га (за гідролітичною кислотністю) відповідно до схеми досліду [4; 9]. При цьому виходили з даних [10; 16], що ГДК валових форм для Pb складає 32 мг/кг ґрунту. У контрольному варіанті солі свинцю не вносили. Навесні під культивування застосовували мінеральне добриво – нітроамофоску марки 16:16:16 та органічне добриво Біогумус (продукт вермикюльтури) за схемою досліду, які занесені у Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні.

Схема мікроділянкового двофакторного досліду охоплювала такі варіанти: 1. Контроль (без добрив); 2. $N_{136}P_{136}K_{136}$; 3. Біогумус 8 т/га; 4. $N_{64}P_{64}K_{64}$ + Біогумус 4 т/га; 5. $N_{136}P_{136}K_{136}$ + $CaCO_3$ 5 т/га; 6. Біогумус 8 т/га + $CaCO_3$ 5 т/га; 7. $N_{64}P_{64}K_{64}$ + Біогумус 4 т/га + $CaCO_3$ 5,0 т/га.

Облікова площа однієї мікроділянки – 2 м². Повторність дослідів п'ятиразова, розміщення варіантів систематичне [1]. Ґрунт дослідного поля – темно-сірий опідзолений легкосуглинковий в орному горизонті (0–20 см) – характеризувався такими агрохімічними показниками: рН сол. – 5,4–5,6; гідролітична кислотність – 3,49–3,62 мг-екв/100 г ґрунту, сума увібраних основ – 11,0–12,2 ммоль/100 г 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 капусти білоголової загальноприйнята для умов Західного Лісостепу України.

Відбирали рослинні зразки за основними фенофазами розвитку та визначали концентрацію свинцю методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії на приладі С115М [8]. Активність пероксидази (КФ. 1.11.1.7) у листках капусти білоголової встановлювали за методом А. Н. Бояркіна [11], що заснований на визначенні швидкості реакції окиснення бензидину під дією ферменту до утворення продукту окиснення синього кольору. Рослинні зразки відбирали за чотирма фенофазами: фаза 5–6 листків; фаза формування розетки; фаза зав'язування головки; фаза технічної стиглості.

За результатами трирічних досліджень встановлено, що активність пероксидази у листках рослин *Brassica oleracea* var. *capitata* L. динамічно змінювалася впродовж вегетаційного періоду і залежала від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем, а також від норм внесення добрив та меліорантів (рис. 1).

На контрольному фоні (варіант без добрив) на початку вегетації у фазі 5–6 листків активність пероксидази була найменшою і становила 72,4 ммоль/г сирової маси за 1 хв. У фазі формування розетки активність пероксидази зросла до 138,5 ммоль/г сирової маси за 1 хв. Найвищу активність пероксидази (297,4 ммоль/г сирової маси за 1 хв) спостерігали у фазі зав'язування головки. Проте на кінець вегетаційного періоду у фазі технічної стиглості активність пероксидази знизилася до 215,1 ммоль/г сирової маси за 1 хв (див. рис. 1).

Отримані результати свідчать, що зі зростанням рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем від 1 до 5 ГДК збільшувалася й концентрація йонів Pb^{2+} у рослинах у всіх варіантах дослідів, а це позначилося на підвищенні активності пероксидази у листках капусти білоголової, як реакція-відгук на стресовий стан рослин (див. рис. 1, табл.).

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

Примітка: 1. Контроль (без добрив); 2. N₁₃₆P₁₃₆K₁₃₆; 3. Біогумус 8 т/га; 4. N₆₈P₆₈K₆₈ + Біогумус 4 т/га; 5. N₁₃₆P₁₃₆K₁₃₆ + CaCO₃ 5 т/га; 6. Біогумус 8 т/га + CaCO₃ 5 т/га; 7. N₆₈P₆₈K₆₈ + Біогумус 4 т/га + CaCO₃ 5 т/га.

Таблица

Активність пероксидази за фенолазами розвитку у листках капusti білоголової залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив і меліорантів, ммоль/г сирої маси за 1 хв

Рівень змодельованого забруднення ґрунту свинцем																
Вариант	Фон (контроль)				1 ГДК (Р _{б²⁺})				3 ГДК (Р _{б²⁺})				5 ГДК (Р _{б²⁺})			
	Фаза 5-6 листків	Фаза форму-вання розетки	Фаза зав'язу-вання головки	Фаза технічна стиглість	Фаза 5-6 листків	Фаза форму-вання розетки	Фаза зав'язу-вання головки	Фаза технічна стиглість	Фаза 5-6 листків	Фаза форму-вання розетки	Фаза зав'язу-вання головки	Фаза технічна стиглість	Фаза 5-6 листків	Фаза форму-вання розетки	Фаза зав'язу-вання головки	Фаза технічна стиглість
1) Контроль (без добрив)	72,4 0,098	138,5 0,152	297,4 0,271	215,1 0,459	110,8 0,135	211,9 0,204	454,9 0,362	329,1 0,615	131,3 0,205	251,2 0,308	539,3 0,552	390,2 0,936	150,5 0,293	287,9 0,440	643,5 0,787	482,2 1,335
	79,2 0,064	152,9 0,107	328,4 0,174	233,3 0,295	104,4 0,097	201,5 0,145	432,5 0,258	307,2 0,440	111,5 0,147	215,4 0,220	462,3 0,394	328,4 0,669	126,1 0,231	243,3 0,347	522,3 0,620	371,0 1,052
	90,1 0,043	173,7 0,065	372,8 0,118	265,4 0,197	108,5 0,081	209,2 0,123	449,2 0,219	319,8 0,372	117,9 0,128	227,5 0,192	488,3 0,343	347,6 0,586	132,5 0,207	255,7 0,311	548,6 0,556	390,5 0,943
2) N ₁₃₆ P ₁₃₆ K ₁₃₆	84,4 0,056	162,7 0,088	349,4 0,152	248,5 0,254	106,6 0,090	205,7 0,137	441,6 0,246	314,1 0,417	115,0 0,137	221,9 0,206	476,4 0,368	338,9 0,625	129,8 0,219	250,5 0,329	537,5 0,588	382,4 0,998
	96,7 0,035	186,4 0,054	400,1 0,096	285,2 0,163	113,3 0,072	218,4 0,106	468,9 0,188	334,2 0,320	122,2 0,115	235,5 0,172	505,6 0,308	360,4 0,523	138,3 0,196	266,6 0,295	572,4 0,527	407,9 0,894
	112,6 0,026	216,7 0,039	462,3 0,070	332,3 0,122	122,9 0,045	236,6 0,066	504,8 0,120	362,8 0,203	131,2 0,092	252,6 0,135	538,9 0,242	387,4 0,410	146,2 0,165	281,4 0,248	600,3 0,443	431,5 0,752
3) Біогумус 8 т/га	105,2 0,029	202,5 0,044	431,8 0,079	310,3 0,135	117,3 0,059	226,0 0,085	481,9 0,153	346,3 0,268	126,1 0,100	242,8 0,151	517,7 0,269	372,0 0,457	142,4 0,180	274,6 0,272	584,9 0,487	420,3 0,826
4) N ₆₈ P ₆₈ K ₆₈ + Біогумус 4 т/га																
5) N ₁₃₆ P ₁₃₆ K ₁₃₆ + CaCO ₃ 5 т/га																
6) Біогумус 8 т/га + CaCO ₃ 5 т/га																
7) N ₆₈ P ₆₈ K ₆₈ + Біогумус 4 т/га + CaCO ₃ 5 т/га																

Прімітка: *чисельник – активність пероксидази у листках капусти білоголової; знаменник – концентрація свинцю у листках капусти білоголової, мг/кг маси сирої речовини.

У фазі зав'язування головки найменшу активність пероксидази у листках капусти білоголової виявлено в контрольному варіанті (без добрив) – 297,4 ммоль/г сирової маси за 1 хв за концентрації Pb у листках 0,271 мг/кг. За рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК активність пероксидази в контролі зросла до 643,5 ммоль/г сирової маси за 1 хв за концентрації Pb у листках 0,787 мг/кг.

Встановлено, що концентрація свинцю у рослинах капусти білоголової зростала упродовж вегетаційного періоду у всіх варіантах досліду і була найбільшою у фазі технічної стиглості (див. табл.).

Зазначимо, що у першому випадку підвищена активність пероксидази до певного рівня за внесення добрив і меліорантів на контрольному фоні у листках капусти білоголової свідчить про активізацію біохімічних процесів у рослинах, котрі позитивно реагували на елементи живлення, повноцінно розвивалися і збільшували масу головок. У другому випадку підвищена активність пероксидази на змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем 1–5 ГДК зумовлена стресом рослин до фітотоксичної дії йонів Pb^{2+} та їхнім намаганням компенсувати цей стан, застосовувши внутрішні захисні механізми антиоксидантної системи (див. рис. 1).

Привертає увагу той факт, що на контрольному фоні у фазі зав'язування головки найбільшу ферментативну активність пероксидази (462,3 та 431,8 ммоль/г сирової маси за 1 хв) відзначали за внесення добрив і меліорантів у нормі Біогумус 8 т/га + $CaCO_3$ 5 т/га та $N_{68}P_{68}K_{68}$ + Біогумус 4 т/га + $CaCO_3$ 5 т/га і за концентрації свинцю в листках 0,070 та 0,079 мг/кг маси сирової речовини. Утім за внесення тих самих норм добрив і меліорантів (варіанти 6 і 7), але на рівні змодельованого забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК активність пероксидази у фазі зав'язування головки зросла до 600,3 та 584,9 ммоль/г сирової маси за 1 хв, а концентрація свинцю в листках становила 0,443 та 0,487 мг/кг маси сирової речовини (див. табл.).

З'ясовано, що активність пероксидази у листках *Brassica oleracea* var. *capitata* L. змінювалася залежно від фенофаз розвитку, концентрації йонів Pb^{2+} у рослинах капусти та внесення добрив і меліорантів. Зазначимо, що застосування органічної та органо-мінеральної систем удобрення на фоні вапнування сприяло зниженню кислотності ґрунту, зв'язуванню рухомих форм Pb^{2+} у малорозчинні стійкі комплекси, а відтак зменшенню транслокації йонів свинцю у рослини

капусти білоголової і як наслідок значно знизило їхній стрес. Крім того, добрива та меліоранти забезпечили рослини капусти білоголової доступними елементами живлення, що забезпечило їхній повноцінний ріст і розвиток упродовж вегетації (див. табл.).

Як бачимо, за використання органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення на фоні вапнування фітотоксичність свинцю проявлялася найменше, а рослини отримали мінімальний стрес, що позитивно позначилося на біометричних параметрах, а в підсумку забезпечило підвищення урожайності та якості продукції.

На основі експериментальних даних проведено кореляційний аналіз у контрольному варіанті (без добрив) на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту свинцем між концентрацією Pb^{2+} в листках капусти білоголової та активністю пероксидази за основними фазами вегетації (рис. 2).

Рис. 2. Кореляційна залежність між концентрацією Pb^{2+} у листках капусти білоголової та активністю пероксидази за фазами вегетації залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем.

За результатами кореляційного аналізу виявлено середню за силою кореляційну залежність ($r = 0,73$ за коефіцієнта детермінації $R = 0,53$) між концентрацією Pb^{2+} у листках капусти білоголової та активністю пероксидази за основними фазами вегетації.

Залежно від зміни активності пероксидази за основними фазами вегетації капусти білоголової можна оцінити внутрішній стан рослин та їхню стійкість до токсичної дії йонів Pb^{2+} , а також ефективність вжитих заходів із детоксикації ґрунту, забрудненого важкими металами.

Висновки. З'ясовано, що токсикодинаміка свинцю пов'язана з активністю пероксидази в

листяках *Brassica oleracea* var. *capitata* L. як індикатора стресових станів рослин до фітотоксичної дії йонів Pb^{2+} . Виявлено, що активність пероксидази зростала зі збільшенням концентрації йонів Pb^{2+} в листках капусти білоголової на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту цим металом (коефіцієнт кореляції $r = 0,73$).

За органічної та органо-мінеральної систем удобрення на фоні вапнування ґрунту у нормі Біогумус 8 т/га + $CaCO_3$ 5 т/га та $N_{68}P_{68}K_{68}$ + Біогумус 4 т/га + $CaCO_3$ 5 т/га відзначали найменші концентрації йонів Pb^{2+} у рослинах капусти білоголової на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту свинцем, що позитивно позначилося на ростових процесах, збільшенні урожайності та підвищенні якості продукції.

Бібліографічний список

1. Бондаренко Г. Л., Яковенко К. І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві. Харків: Основа, 2001. 370 с.
2. Виноградова Е. Н., Коршиков И. И. Сезонная динамика пероксидазной активности в листьях *Populus deltoids* Marsh. насаждений техногенно загрязненных территорий. *Промышленная ботаника*. 2012. Вып. 12. С. 161–166.
3. Газарян И. Г., Шушупульян Д. М., Тишков В. И. Особенности структуры и механизма действия пероксидазы растений. *Успехи современной химии*. 2006. Т. 46. С. 303–322.
4. Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ: СІК ГРУП Україна, 2015. 376 с.
5. Гуральчук Ж. З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. Київ: Логос, 2006. 208 с.
6. 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.
7. Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. Киев: Основа, 2010. 352 с.
8. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственной и продукционной растениеводства. Москва: Гидрометеиздат, ЦИНАО, 1992. 61 с.
9. Надточій П. П., Мислива Т. М., Вольвач Ф. В. Екологія ґрунту: монографія. Житомир: Видавництво «ПП Рута», 2010. 473 с.
10. Патица В. П., Тараріко О. Г. Агроєкологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. Київ: Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.
11. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. Москва: Колос, 1976. 256 с.
12. Рідей Н. М., Строкаль В. П., Рибалко Ю. В. Екологічна оцінка агробіоценозів: теорія, методика, практика. Херсон: Олді – плюс, 2011. 258 с.
13. Савич И. М. Пероксидазы стрессовые белки растений. *Успехи совр. биологии*. 1989. Т. 107, № 3. С. 406–417.
14. Снитынский В. В., Дыдив А. И. Эффективность различных систем удобрения и мелиорантов на подвижность свинца в почве и его влияние на биохимический состав капусты белокочанной. *Овощеводство: сборник научных трудов. Национальная академия наук Беларуси*. 2016. Т. 24. С. 136–143.
15. Снітинський В., Качмар Н., Дидів А. Вплив добрив та меліорантів на фітопродуктивність капусти білоголової за забруднення ґрунту свинцем. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: Серія «Агрономія»*. Київ, 2018. Вип. 270. С. 329–338.
16. Фатеев А. И., Самохвалова В. Л. Детоксикация тяжелых металлов у ґрунтової системи: методичні рекомендації. Харків: Міськдрук, 2012. 70 с.
17. 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.
18. 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. Vol. 6. P. 65–74.
19. 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. Vol. 57. P. 1759–1768.

Стаття надійшла 28.02.2020