

ВПЛИВ РЕГУЛЯТОРУ РОСТУ НА ФЕРМЕНТИ АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ ЗА УМОВ ДІІ АНТРОПОГЕННИХ ЕМІСІЙ

О.М. Василюк

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара

E-mail: Vasilyuk.elena@mail.ru

Досліджено загальну (GA, Px, ΔE, ml·с) та питому (SA, Px, ΔE, mg·с) активність ферменту класу оксидоредуктаз пероксидази (Px, EC 1.11.1.7), яка у поєднанні із каталазою (Cat, EC 1.11.1.6) формує подвійну ланку антиоксидантного захисту клітин в організмах різного рівня організації за умов підвищення окисно-відновних процесів при збільшенні екзогенного навантаження, як неспецифічної реакція на стрес. Дані показники, як маркери зміни чинників довкілля, визначали в листках *Salix alba* L., що розповсюджена по берегам річки Мокра Сура (антропогенно забруднена з підвищеною мінералізацією) та річки Шпакова (умовно чиста, контроль). Дані акваторії належать до басейну річки Дніпро Степового Придніпров'я, що характеризуються значним індустріальним навантаженням. Для пришвидшення вкорінення та зниження екзогенного антропогенного тиску на рослинний об'єкт використовували регулятор росту рослин «Корневін». Виявлено неспецифічну реакцію пероксидази на антропогенний тиск, визначено достовірні відмінності між дослідом та контролем у показниках антиоксидантного захисту залежно від умов росту та розвитку.

Ключові слова: Salix alba L., підвищена мінералізація, регулятори росту, пероксидаза, адаптогени, антропогенні чинники

EFFECT OF PLANT GROWTH REGULATORS ON ANTIOXIDANT ENZYMES PROTECTION UNDER ANTHROPOGENIC EMISSIONS

O.M. Vasilyuk

Oles' Gonchar Dnipropetrovs'k National University

E-mail: Vasilyuk.elena@mail.ru

The paper presents analysis of general (GA, Px, ΔE, ml·sec) and specific (SA, Px, ΔE, mg·sec) of oxidoreductase enzyme activity (Peroxidase, Px, EC 1.11.1.7), which together with Catalase (Cat, EC 1.11.1.6) forms a double link antioxidant protection of cells in the organisms of different levels of organization (non-specific response to stress) in the conditions of increasing redox processes under the exogenous stress. These markers of changeable environmental factors were sampled in the leaves of *Salix alba* L., which grew along Mokra Sura River (anthropogenically polluted with high level of salinity, experiment) and Shpakova River (without anthropogenic impact, control). These rivers belong to the basin of the Dnieper River (Steppe Dnieper region) that has high industrial load. We used plant growth regulator "Kornevin" in order to accelerate the rooting and reduce the exogenous pressures on the plants. We detected nonspecific reaction towards peroxidase in anthropogenic pressure conditions and determined significant differences between experiment and control regards antioxidant protection depending on growth and development conditions.

Keywords: Salix alba L., increased level of salinity, growth regulators, peroxidase, adaptogene, anthropogenic factors

Citation:

Vasilyuk, O.M. (2016). Effect of plant growth regulators on antioxidant enzymes protection under anthropogenic emissions. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelniitskiy Melitopol State Pedagogical University*, 6 (3), 80–87.

Поступило в редакцію / Submitted: 14.09.2016

Принято к публикации / Accepted: 16.10.2016

crossref <http://dx.doi.org/10.15421/201674>

© Vasilyuk, 2016

Users are permitted to copy, use, distribute, transmit, and display the work publicly and to make and distribute derivative works, in any digital medium for any responsible purpose, subject to proper attribution of authorship.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0. License

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРА РОСТА НА ФЕРМЕНТЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ЭМИССИЙ

Е.М. Василюк

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

E-mail: Vasilyuk.elena@mail.ru

Исследованы общая (Ga, Pх, DE, мА·сек) и удельная (SA, Pх, DE, мг·сек) активность фермента класса оксидоредуктаз пероксидазы (Pх, EC 1.11.1.7), которая вместе с каталазой (Cat, EC 1.11.1.6) формирует двойную линию антиоксидантной неспецифической защиты клеток организма на различном уровне организации в условиях стресса, когда повышается уровень окислительно-восстановительных процессов. Данные показатели, как маркеры изменения факторов окружающей среды, определяли в листьях *Salix alba* L., распространенной по берегам реки Мокрая Сура (антропогенно загрязненная с повышенной минерализацией) и реки Шпаковая (условно чистая, контроль). Данные акватории относятся к бассейну реки Днепр - район Степного Приднепровья. Для ускорения укоренения и снижения экзогенного антропогенного давления на растительный объект использовали регулятор роста растений «Корневин». Выявили неспецифическую реакцию пероксидазы на антропогенные воздействия при данных условиях, определили достоверные различия между опытом и контролем в показателях антиоксидантной защиты в зависимости от условий роста и развития. Доказано протекторное, нивелирующее и стабилизирующее действие регулятора роста на растение *S. alba* L. при антропогенной нагрузке и активирующее при нормальных условиях роста и развития.

Ключевые слова: Salix alba L., повышенная минерализация, регуляторы роста, пероксидаза, адаптогены, антропогенные факторы

ВСТУП

При негативній зміні умов існування відбувається зміна (збіднення) природного біорізноманіття біоти різного ступеню організації на видовому, популяційному та організменому рівнях; змінюється напрямок біохімічних процесів (Becerril et al., 2013) і на молекулярному рівні функціонування клітин організму (Dzyubak & Vasilyuk, 2009; Vasilyuk & Dzyubak, 2009; Deeba, 2012; Bendaly et al., 2016). З'ясовано, що одним із чутливих маркерів на стресові чинники є ферментативна система, а саме ферменти антиоксидантного захисту, представником яких є фермент класу оксидоредуктаз - пероксидаза, що характеризується високим поліморфізмом (Derendovskaya & Ştirbu, 2011).

Визначення ролі антиоксидантних ферментів має велике значення через їх ключові позиції у антиоксидантному захисті (АОЗ) організмів (Vinogradova, 2015). Так, з'ясована роль антоціанів у фруктових екстрактах та їх деградація поліфенолоксидазами (ПФО) та пероксидазами (ПО). Виявлено, що деградація антоціанів відбувається у перикарпії плодів *Litchi* упродовж дозрівання за допомогою пероксидази $CaPrxO1$ (Fang et al., 2015). Крім того, вивчався біохімічний метаболізм даного ензиму та визначено негативний вплив пероксидази на ріст та розвиток рослин класу *Arabidopsis* в умовах пошкодження клітинної стінки (Raggi et al., 2015). Визначена роль пероксидази і у мембранному транспорті та біоенергетиці при формуванні активних форм кисню клітинами кореневої системи в умовах нестачі калію (Ragel, 2015). Виявлені фізіологічні механізми внеску пероксидази у термін зберігання томатів (Zhang et al., 2015). У літературі обговорюється та уточнюється питання стосовно механізмів дії пероксидази та її ролі у проростанні, з'ясовано стан антиоксидантної системи за умов дії низьких температур, важких металів (Azcón et al., 2009; Thounaojam et al., 2011; Vestena et al., 2011; Kumar et al., 2012; Kuta et al., 2014; Li et al., 2014), вивчено вплив пероксиду водню (Fuller-Espie et al., 2011), акцептору електронів у реакції дії пероксидази на СН-ОН групу донорів та одночасно регулятору росу рослин (Mohammadian et al., 2011; Najj et al., 2011; Mohamed et al., 2012; Sidhu et al., 2016), на пророщування ячменю та на його антиоксидантний статус (Verkhoturrov & Frantenko, 2008).

Взаємодіючи із каталазою (Cat, EC 1.11.1.6) у цільній ланці антиоксидантного захисту, пероксидаза (Pх, EC 1.11.1.7) зменшує кількість токсичних сполук (вільних радикалів, пероксиду водню, хінонів, убіхінонів, інших форм активного кисню) як агресивних субстратів, що забезпечує нормалізацію природного метаболізму, сприяє зниженню стресу, формує механізм стійкості рослин в умовах різних видів екологічних та антропогенних чинників як неспецифічної реакції на стрес за умов підвищення вільно-радикального окислення (Vasilyuk & Vinnichenko, 2006a). Для оцінювання стійкості рослин до природних та антропогенних чинників автор використовував один із таких показників, як загальна та питома активності ферменту антиоксидантного захисту пероксидази, як досить чутливого до зміни чинників навколишнього середовища ензиму.

Об'єктом дослідження використали *Salix alba* L., як досить поширену для Степового Придніпров'я культуру (Skvortsov, 1968), а для зниження антропогенного пресу вносили РРР «Корневин». Вивчення адаптивної реакції оксидоредуктаз на зміни умов довкілля на цій культурі, в порівнянні з іншими видами рослин (Vasilyuk & Vinnichenko, 2006b), недостатньо (Vasilyuk & Gritsenko, 2008), а роботи у даному напрямку не дуже чисельні (Vasilyuk, 2010).

Фермент пероксидаза це поєднання глікопротеїну та гему (невітамінний кофермент I групи : суперкільце протопорфірину IX, що складається з 4 пірольних кілець, з'єднаних метиновими (-СН-) містками; 4-х метильних (-СН₃) груп, 2-х вінільних груп та 2-х залишків пропіонової кислоти). У центрі протопорфіринового ядра знаходиться атом Fe²⁺. Вуглеводна частина пероксидази хрому складається з глюкози, галактози, занози, арабінози, ксилози, фруктози та гексозаміну. Вуглеводні залишки потрібні для стабілізації та захисту від дії протеолітичних ферментів, зв'язані з білком через аспарагін в положеннях 13, 57, 158, 186, 198, 214, 255 та 268. Білкова частина пероксидази складається з 308 амінокислотних залишків й має чотири дисульфідних зв'язка. Множинні молекулярні форми пероксидази відрізняються за субстратною специфічністю, локалізацією, оптимальними умовами, необхідними для прояву каталітичної активності. Ці відмінності можуть обумовити виконання ними різних фізіологічних функцій (Пероксидаза каталізує окислення субстратів органічної природи за рахунок кисню Н₂О₂, що виділяється при його розкладенні. Фермент проявляє малу специфічність по відношенню до донорів водню. Субстратами пероксидази є фенольні сполуки, поліфеноли у вільному стані або в формі різних складних сполук (глікозидів, дубильних речовин) й ароматичні аміни, діаміни, індофеноли, ароматичні амінокислоти, аскорбінова кислота, нітрати, НАДФН₂ (Varfolomeyev, 2005).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Порівняльний експеримент проводили в умовах малих річок Степового Придніпров'я - Мокра Сура (антропогенно забруднена, підвищена мінералізація) та Шпакова (умовно чиста). Район дослідження характеризується високим антропогенним тиском: емісії органічних та неорганічних сполук (C₃H₆O, C₆H₆O, C₇H₈, C₆H₆, C₈H₁₀, C₁₀H₈, SO₂, CO₂, NO₂, H₂S, солі важких металів Zn²⁺, Pb²⁺, Cd²⁺ тощо) потужними та чисельними заводами різного економічного та господарського профілів негативно впливають на атмосферну, водну, едафотопу складові біоти та їх біорізноманіття взагалі (Bulakhov & Pakhomov, 2006) та нормальний ріст та розвиток рослин зокрема.

Об'єкт дослідження - живці *S. alba* L. довжиною 50 см, діаметром 1,5-2 см, які висаджували по урізку води р. Мокра Сура та р. Шпакова один від одного на відстані 2-2,5 м для очищення акваторій від замулення та заростання *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel формуванням тіньової структури *S. alba* L. Перед висадкою частину рослин для прискорення ризогенезу замочували у регуляторі росту рослин «Корневін» (дослід), а іншу у дистильованій воді (контроль). Дослід виконували за схемою: I блок: №1 Контроль (р. Шпакова), №2 дослід (р. Мокра Сура). II блок: №1 Контроль (дистильована вода), №2 «Корневін» для рослин по берегам річки Мокра Сура та річки Шпакова. «Корневін» використали згідно інструкції.

Досліджено загальну (GA, Pх, ΔE, мЛ-сек) та питому (SA, Pх, ΔE, мГ-с) активність (Churakhina, 2000). ферменту класу оксидоредуктаз пероксидази, що діє на СН-ОН групу донорів, каталізує реакції з пероксидом водню у якості акцептору електронів як чутливого ферменту антиоксидантного захисту. У роботі використовували регулятор росту рослин (PPP) «Корневін». «Корневін» це препарат на основі індоліл-3-масляної кислоти, синтетичний аналог природних ауксинів, стимулює поділ клітин паренхимми, що зумовлює ріст клітин меристем у фазі розтягнення та швидко диференціацію корневих зачатків у базальній частині кореня (Shevelukha, 1990).

Мета роботи - вивчити вплив PPP на питому (SA) та загальну (GA) активність пероксидази (Pх) як чутливих маркерів зміни чинників навколишнього середовища та неспецифічного механізму побудови адаптаційних та протекторних механізмів для підтримки стану гомеостазу організмів як реакції на стрес, в листках *Salix alba* залежно від умов росту та розвитку. Отримані результати оброблені статистично, повторність триразова, об'єм вибірки – 500. Дослід проводили упродовж вегетаційного періоду. Гарантія надійності висновку про суттєвість або несуттєвість відмінностей (різниць) між середніми незалежних вибірок розраховували за *t*-критерієм Ст'юдента (Van Emden, 2008).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Порівнюючи між собою ріст та розвиток *S. alba* за різних антропогенних умов, визначено достовірне підвищення фону пероксидазної активності (загальна та питома) в листках *S. alba*, що виростає по берегам р. Мокра Сура (дослід, підвищена мінералізація) у порівнянні із контролем (р. Шпакова) на 41% та 30% (GA, Pх та SA, Pх) відповідно (табл. 1).

Таблиця 1. Вплив умов росту на загальну та питому активність пероксидази в листках *Salix alba* (в % відносно контролю)

Варіанти дослідю	Показники	
	GA, Pх	SA, Pх
р. Шпакова	100	100
р. Мокра Сура	141*	130*

Примітка: * тут і надалі достовірність відмінності між дослідним варіантом та контролем, *P* < 0.05.

Застосування PPP «Корневін» за даних умов сприяло нівелюванню антропогенного чинника (підвищена мінералізація) за рахунок стабілізуючої дії PPP відносно контролю (р. Шпакова + PPP). Загальна та питома активності пероксидази підвищені достовірно на 9% та 10% відповідно. Реакція на стрес зменшена, адаптаційні механізми запущені, що зафіксовано чутливим процесом антиоксидантного захисту рослин на прикладі пероксидази як маркера зміни чинників навколишнього середовища (табл. 2). Таблиця 2. Вплив умов росту на загальну та питому активність пероксидази в листках *Salix alba* на фоні дії PPP «Корневін» (% відносно контролю)

Варіанти досліджу	Показники		
	GA, Px		SA, Px
р. Шпакова	100		100
р. Мокра Сура	109*		110*

При дослідженні роботи ферментативної активності, що забезпечує антиоксидантний захист (конкретно за умов річки Мокра Сура, антропогенно забруднена, підвищена мінералізація) при внесенні PPP «Корневін», зафіксовано достовірне зниження активностей пероксидази до 62% та до 76% відносно контролю (дистильована вода) відповідно. Дія PPP стосовно антропогенного тиску нівелююча та відносно адаптаційних механізмів підтримки стану гомеостазу за даних умов дещо стабілізуюча (табл. 3), проте інгібована, що узгоджується із літературними даними, коли накопичення токсикантів перевищує певний рівень (Vinogradova, 2015).

Таблиця 3. Ефект дії PPP на загальну та питому активність пероксидази в листках *Salix alba* (р. Мокра Сура)

Варіанти досліджу	GA, Px		SA, Px	
	M ± SD	C, %	M ± SD	C, %
Контроль (дистильована вода)	3,64±0,426	100	4,33±0,284	100
PPP «Корневін»	2,26±0,141	62*	3,28±0,280	76*

Примітка: M – середня; SD – стандартне відхилення; C – співвідношення дослід/контроль, %;

* достовірність відмінності між дослідним варіантом та контролем, $P < 0.05$

За умов р. Шпакова (умовно чиста), у порівнянні із забрудненим середовищем (р. Мокра Сура, підвищена мінералізація) дані показники були дещо вищими 81% та 90% відповідно (табл. 3, 4), що доводить виснаження ферментативних систем при антропогенному навантаженні та нормалізацію функцій при знятті напруги. Дія PPP стосовно адаптаційних механізмів підтримки стану гомеостазу за даних умов дещо активуюча (табл. 4).

Таблиця 4. Ефект дії PPP на загальну та питому активність пероксидази в листках *Salix alba* за умов р. Шпакова

Варіанти досліджу	GA, Px		SA, Px	
	X ± SD	C, %	X ± SD	C, %
Контроль (дистильована вода)	2,58±1,431	100	3,32±2,052	100
PPP «Корневін»	2,08±0,288	81*	2,99±0,522	90*

Примітка: див. табл. 3

ВИСНОВКИ

Ферменти антиоксидантного захисту є досить чутливий інструмент виявлення стресового стану різного походження, який забезпечує ланцюжок неспецифічних адаптивних реакцій рослинного організму на дію екзогенного чинника. Даний біохімічний маркер сигналізує про стрес і формує механізми зменшення його руйнівної сили, нівелює наслідки токсичної дії різних продуктів біохімічного відгуку на стрес та сприяє розвитку адаптаційних механізмів для підтримки стану гомеостазу за нових, несприятливих умов, якщо дія чинника вище порогового рівня, що важливо для оцінювання ступеню забруднення середовища. Порівнюючи між собою умови росту *S. Alba* в умовах підвищеної мінералізації та відносно чистих умовах, нами встановлено, що ферментативна активність антиоксидантної пероксидази була підвищена за умов екзогенного забруднення (р. Мокра Сура) у порівнянні із умовно незабрудненим середовищем (р. Шпакова).

При з'ясуванні ефекту PPP «Корневін» виявлено його інгібуючу роль в умовах підвищеної мінералізації та активуючу роль у відносно чистих умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Azcón, R., Perálvarez, M.C., Biró, B., Roldan, A., Ruíz-Lozano, J.M. (2009). Antioxidant activities and metal acquisition in mycorrhizal plants growing in a heavy-metal multicontaminated soil amended with treated lignocellulosic agrowaste. *Appl. Soil Ecol.* 41, 168–177.
- Becerril, F.R., Juárez-Vázquez, L.V., Hernández-Cervantes, S.C., Acevedo-Sandoval, O.A., Vela-Correa, G., Cruz-Chávez, E., Moreno-Espíndola, I.P., Esquivel-Herrera, A., de León-González, F. (2013). Impacts of manganese mining activity on the environment: Interactions among soil, plants and arbuscular Mycorrhiza. *Environ. Contam. Toxicol.* 64(2), 219–227.
- Bendaly, A., Messedi, D., Smaoui, A., Ksouri, R., Bouchereau, A. Chedly A. (2016). Physiological and leaf metabolome changes in the xerohalophyte species *Atriplex halimus* induced by salinity, *Plant Physiology and Biochemistry*, 208-218.
- Boshoff, M., Jonge, M.De., Scheifler, R., Bervoets, L. (2014). Predicting *As*, *Cd*, *Cu*, *Pb* and *Zn* levels in grasses (*Agrostis* sp. and *Poa* sp.) and stinging nettle (*Urtica dioica*) applying soil–plant transfer models. *Sci. Total. Environ.* 493(15), 862–871.
- Deeba F., Pandey A.K., Ranjan S, Mishra A, Singh R, Sharma Y.K, Shirke P.A, Pandey V (2012). Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress. 53, 6-18.
- Fang, F., Zhang, X.-lian., Luo, H.-hui, Zhou, J.-jian, Gong, Y.-hui, Li, W.-jun, Shi, Zh.-wan, He, Q., Wu, Q., Li, L., Jiang, L.-, Cai, Zh.-gao, Oren-Shamir, M., Zhang, Zh.-qi, Pang, X.-qun. (2015). An intracellular laccase is responsible for epicatechin-Mediated Anthocyanin degradation in Litci fruit pericarp. *Plant Physiol.* 169(4): 2391-2408. doi: 10.1104/pp.15.00359.
- Fuller-Espie, S.L., Bearoff, F.M., Minutillo, M.A. (2011). Exposure of coelomocytes from the earthworm *Eisenia hortensis* to Cu, Cd, and dimethylbenz[a]anthracene: An *in vitro* study examining reactive oxygen species production and immune response inhibition. *Pedobiologia*, 54(29), S31–S36.
- Hameed, A., Mahmooduzzafar, T.N.Q, Siddiqi, T.O., Iqbal, M. (2011). Differential activation of the enzymatic antioxidant system of *Abelmoschus esculentus* L. under *CdCl₂* and *HgCl₂* exposure. *Braz. J. Plant Physiol.* 23(1), 46–54.
- Hasan, S.A., Hayat, S., Wani, A.S, Ahmad, A. (2011). Establishment of sensitive and resistant variety of tomato on the basis of photosynthesis and antioxidative enzymes in the presence of cobalt applied as shotgun approach. *Braz. J. Plant Physiol.* 23(3), 175–185.
- Kumar M., Bijo A. J., Baghel R.S., Reddy C.R.K., Jha B. (2012). Selenium and spermine alleviate cadmium induced toxicity in the red seaweed *Gracilaria dura* by regulating antioxidants and DNA methylation, 51, 129-138.
- Kuta, E., Jędrzejczyk-Korycińska, M., Cieślak, E., Rostański, A, Szczepaniak, M., Migdalek, G, Li, Z.H., Chen, L., Wu, Y.H., Li, P. (2014). Effects of mercury on oxidative stress gene expression of potential biomarkers in larvae of the Chinese rare minnow *Gobiocypris rarus*. *Environ. Contam. Toxicol.* 67(2), 245–251.
- Li, Zh.-H., Chen, L., Wu, Y-H., Li, P., Li, Y.-F., Ni, Zh.-H. (2014). Effects of Mercury on Oxidative Stress and Gene Expression of Potential Biomarkers in Larvae of the Chinese Rare Minnow *Gobiocypris Rarus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(2), 245–251.
- Mohammadian, M.A., Mobrami, Z., Sajedi, R.H. (2011). Bioactive compounds and antioxidant capacities in the flavedo tissue of two citrus cultivars under low temperature. *Braz. J. Plant Physiol.* 23(3), 203-208.
- Mohamed, A.A., Castagna, A., Ranieri, A., di Toppi, S. (2012). Cadmium tolerance in *Brassica juncea* roots and shoots is affected by antioxidant status and phytochelatin biosynthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 57, 15-22.
- Naji, K.M., Devaraj, V.R. (2011). Antioxidant and other biochemical defense responses of *Macrotyloma uniflorum* (Lam.) Verdc. (Horse gram) induced by high temperature and salt stress. *Braz. J. Plant Physiol.* 23(3), 187-195
- Ragel, P., Ródenas, R., García-Martín, E., Andrés, Z., Villalta, I., Nieves-Cordones, M., Rivero, Rosa M., Martínez, V., Pardo, Jose M., Quintero, Francisco J., Rubio, F. (2015). The CBL-Interacting Protein Kinase CIPK23 Regulates HAK5-Mediated High-Affinity K⁺ Uptake in Arabidopsis Roots. *Plant Physiol.* 169(4): 2863-2873. doi: 10.1104/pp.15.00359.
- Raggi, S., Ferrarini, A., Delledonne, M., Dunand, C., Ranocha, P., De Lorenzo, G., Cervone, F., Ferrari, S. (2015). The Arabidopsis Class III Peroxidase AtPRX71 Negatively Regulates Growth under Physiological Conditions and in Response to Cell Wall Damage. *Plant Physiol.* 169(4):2513-2525. doi: 10.1104/pp.15.01464.
- Sidhu, G.P.S., Singh, H.P., Batish, D.R., Kohli, R.K. (2016). Effect of lead on oxidative status, antioxidative response and metal accumulation in *Coronopus didymus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 290-296.
- Thounaojam, T.C., Panda, P., Mazumdar, P., Kumar, D., Sharma, G.D., Sahoo, L., Panda, S.K. (2012). Excess copper induced oxidative stress and response of antioxidants in rice. *Plant Physiology and Biochemistry*, 53, 33-39.

- Vasilyuk, O.M., Pakhomov, A.E. (2014). Effect of lead ions on Alanine Aminotransferase activity in *Glechoma hederacea* leaves subject. Scientific Enquiry in the Contemporary World: Theoretical Basics and Innovative Approach. Ser. Natural sciences. B&M Publishing San Francisco, California, USA, B&M Publishing Research and Publishing Center "Colloquium", 1, 19–26.
- Vasilyuk, O.M., Dzyubak, O.I. (2009). Physiological and biochemical parameters of plants as markers of a condition of environment // Матеріали I міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Фундаментальні та прикладні дослідження в біології», том II, Донецьк, «Вебер», – С. 348–349.
- Van Emden, H.F. 2008. Statistics for terrified biologists. Blackwell, Oxford.
- Vestena, S., Cambraia, J., Ribeiro, C, Oliveira, J.A. Oliva, M.A. (2011). Cadmium induced oxidative stress and antioxidant enzyme response in water hyacinth and salvinia. Braz. J. Plant Physiol. 23(2), 131-139.
- Zhang, Y., De Stefano, R., Robine, M., Butelli, E., Bulling, K., Hill, L., Rejzek, M., Martin, C., Schoonbeek, H.-jan. (2015). Different Reactive Oxygen Species Scavenging Properties of Flavonoids Determine Their Abilities to Extend the Shelf Life of Tomato. Plant Physiol. 169(3): 1568-1583 doi: 10.1104/pp.15.00346.
- Варфоломеев С.Д. Химическая энзимология. М: «Академия», 2005.-580 с.
- Василюк, О.М. Вплив засолення на біохімічні показники в листках *Salix alba* L. на фоні дії регуляторів росту рослин гумінової природи [Текст] / О.М. Василюк // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Біорізноманіття: теорія, практика та методичні аспекти вивчення у загальноосвітній та вищій школі», Полтава, 2010. – С.54–56.
- Василюк, О.М. Вплив іонів свинцю та малих доз радіації на активність каталази у проростках кукурудзи [Текст] / О.М. Василюк, О.М. Вінниченко // Вісн. Дніпропетр. унів. Сер. Біол. Екол. – 2006а, 14(2). – С. 30–33.
- Василюк, О.М. Вплив біологічно активних речовин на активність каталази кукурудзи різних генотипів на фоні дії аценіту [Текст] / О.М. Василюк., О.М. Вінниченко // Вісн. Дніпропетр. унів. Сер. Біол. Екол. – 2006б. – №3/1. – С.26–30.
- Василюк, О.М. Вплив регуляторів росту на активність ферментів переамінування в листі та коренях *Salix alba* L. [Текст] / О.М. Василюк, П.В. Гриценко // Вісн. Дніпропетр. унів. Сер. Біол. Екол. – 2008.– 16(1). – С.34-40.
- Верхотуров, В.В. Влияние перекиси водорода на анти- и прооксидантный статус семян ячменя при прорастании [Текст] / В.В. Верхотуров, В.К. Франтенко // Доклады Российской академии с/х наук, 2008. – № 1. – С. 11–13.
- Виноградова, Е.Н. Устойчивость пероксидазы из листьев растений техногенных экотопов к действию ингредиентов эмиссий в условиях *in vitro* [Текст] / Е.Н. Виноградова // Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде. Коллектив авторов. – М. – Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 501с.
- Дзюбак, О.І. Василюк, О.М. Вплив хлоридного засолення на морфометричні та біохімічні показники рослин у динаміці росту та розвитку [Текст] / О.І. Дзюбак, О.М. Василюк // Матеріали I міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Фундаментальні та прикладні дослідження в біології», том II, Донецьк, «Вебер», 2009. – С. 231–232.
- Дерендовская, А.И. Особенности изоферментного спектра пероксидаз листьев у подвойных сортов и привойно-подвойных комбинаций винограда. [Текст] / А.И. Дерендовская, А.В. Штирбу // Lucrări şt., Univ. Agrară de Stat din Moldova. 2011, Vol. 29: Agronomie, P. 103–107.
- Скворцов, А.К. Ивы СССР [Текст] / А.К. Скворцов. — М.: "Наука". —1968. — 262 с.
- Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений. – Калининград, 2000. –59 с.
- Шевелюха, В.С. Регуляторы роста растений [Текст] / В.С. Шевелюха. – М.: Агропромиздат, 1990. – 185с.

REFERENCES

- Azcón, R., Perálvarez, M.C., Biró, B., Roldan, A., Ruíz-Lozano, J.M. (2009). Antioxidant activities and metal acquisition in mycorrhizal plants growing in a heavy-metal multicontaminated soil amended with treated lignocellulosic agrowaste. Appl. Soil Ecol, 41, 168–177.
- Becerril, F.R., Juárez-Vázquez, L.V., Hernández-Cervantes, S.C., Acevedo-Sandoval, O.A., Vela-Correa, G., Cruz-Chávez, E., Moreno-Espíndola, I.P., Esquivel-Herrera, A., de León-González, F. (2013). Impacts of manganese mining activity on the environment: Interactions among soil, plants and arbuscular Mycorrhiza. Environ. Contam. Toxicol, 64(2), 219–227.
- Bendaly, A., Messedi, D., Smaoui, A., Ksouri, R., Bouchereau, A. Chedly A. (2016). Physiological and leaf metabolome changes in the xerohalophyte species *Atriplex halimus* induced by salinity, Plant Physiology and Biochemistry, 208-218.

- Boshoff, M., Jonge, M. De., Scheifler, R., Bervoets, L. (2014). Predicting *As*, *Cd*, *Cu*, *Pb* and *Zn* levels in grasses (*Agrostis* sp. and *Poa* sp.) and stinging nettle (*Urtica dioica*) applying soil-plant transfer models. *Sci. Total Environ.* 493(15), 862–871.
- Chupahina GN. (2000). Physiological and biochemical analysis methods rasteniy. Kaliningrad (in Russian).
- Deeba, F., Pandey, A.K., Ranjan, S., Mishra, A., Singh, R., Sharma, Y.K., Shirke, P.A., Pandey, V. (2012). Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress. *Plant Physiol Biochem.* 53, 6-18.
- Derendovskaya, A.I., Ştirbu, A.V. (2011). Osobennosti izofermentnogo spektra peroksidaz listev u podvoynih sortov i privoyno-podvoynih kombinatsiy vinograda. *Lucrări şt, Univ. Agrară de Stat din Moldova. Agronomie*, 29, 103–107 (in Russian).
- Dzyubak, O.I., Vasilyuk, O.M. (2009). Effect of chloride salinity on morphometric and biochemical indices in the dynamics of plant growth and development. *Proceed. I International Scientific Conference Fundamental and applied research in biology.* Donetsk: Veber.
- Fang, F., Zhang, X.-lian., Luo, H.-hui, Zhou, J.-jian, Gong, Y.-hui, Li, W.-jun, Shi, Zh.-wan, He, Q., Wu, Q., Li, L., Jiang, L., Cai, Zh.-gao, Oren-Shamir, M., Zhang, Zh.-qi, Pang, X.-qun. (2015). An intracellular laccase is responsible for epicatechin-Mediated Anthocyanin degradation in Litci fruit pericarp. *Plant Physiol*, 169(4): 2391-2408 doi: 10.1104/pp.15.00359.
- Fuller-Espie, S.L., Bearoff, F.M., Minutillo, M.A. (2011). Exposure of coelomocytes from the earthworm *Eisenia hortensis* to Cu, Cd, and dimethylbenz[a]anthracene: An *in vitro* study examining reactive oxygen species production and immune response inhibition. *Pedobiologia*, 54(29), 31–36.
- Hameed, A., Mahmooduzzafar, T.N.Q, Siddiqi, T.O., Iqbal, M. (2011). Differential activation of the enzymatic antioxidant system of *Abelmoschus esculentus* L. under *CdCl₂* and *HgCl₂* exposure. *Braz. J. Plant Physiol*, 23(1), 46–54.
- Hasan, S.A., Hayat, S., Wani, A.S, Ahmad, A. (2011). Establishment of sensitive and resistant variety of tomato on the basis of photosynthesis and antioxidative enzymes in the presence of cobalt applied as shotgun approach. *Braz. J. Plant Physiol*, 23(3), 175–185.
- Kumar M., Bijo A. J., Baghel R.S., Reddy C.R.K., Jha B. (2012). Selenium and spermine alleviate cadmium induced toxicity in the red seaweed *Gracilaria dura* by regulating antioxidants and DNA methylation. *Plant Physiol Biochem*, 51, 129-138.
- Kuta, E., Jędrzejczyk-Korycińska, M., Cieślak, E., Rostański, A, Szczepaniak, M., Migdalek, G, Li, Z.H., Chen, L., Wu, Y.H., Li, P. (2014). Effects of mercury on oxidative sand gene expression of potential biomarkers in larvae of the Chinese rare minnow *Gobiocypris rarus*. *Environ. Contam. Toxicol.* 67(2), 245–251.
- Li, Zh.-H., Chen, L., Wu, Y-H., Li, P., Li, Y.-F., Ni, Zh.-H. (2014). Effects of Mercury on Oxidative Stress and Gene Expression of Potential Biomarkers in Larvae of the Chinese Rare Minnow *Gobiocypris Rarus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(2), 245–251.
- Mohammadian, M.A., Mobrami, Z., Sajedi, R.H. (2011). Bioactive compounds and antioxidant capacities in the flavedo tissue of two citrus cultivars under low temperature. *Braz. J. Plant Physiol*, 23(3), 203-208.
- Mohamed, A.A., Castagna, A., Ranieri, A., di Toppi, S. (2012). Cadmium tolerance in Brassica juncea roots and shoots is affected by antioxidant status and phytochelatin biosynthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 57, 15-22.
- Naji, K.M., Devaraj, V.R. (2011). Antioxidant and other biochemical defense responses of *Macrotyloma uniflorum* (Lam.) Verdc. (Horse gram) induced by high temperature and salt stress. *Braz. J. Plant Physiol*, 23(3), 187-195.
- Ragel, P., Ródenas, R., García-Martín, E., Andrés, Z., Villalta, I., Nieves-Cordones, M., Rivero, Rosa M., Martínez, V., Pardo, Jose M., Quintero, Francisco J., Rubio, F. (2015). The CBL-Interacting Protein Kinase CIPK23 Regulates HAK5-Mediated High-Affinity K⁺ Uptake in Arabidopsis Roots. *Plant Physiol*, 169(4): 2863-2873. doi: 10.1104/pp.15.00359.
- Raggi, S., Ferrarini, A., Delledonne, M., Dunand, C., Ranocha, P., De Lorenzo, G., Cervone, F., Ferrari, S. (2015). The Arabidopsis Class III Peroxidase AtPRX71 Negatively Regulates Growth under Physiological Conditions and in Response to Cell Wall Damage. *Plant Physiol*, 169(4):2513-2525. doi: 10.1104/pp.15.01464.
- Shevelukha, V.S. (1990). *Regulyatori rosta rasteniy.* Moscow: Agroprom Press (in Russian).
- Sidhu G.P.S., Singh H.P., Batish D.R., Kohli, R.K. (2016). Effect of lead on oxidative status, antioxidative response and metal accumulation in *Coronopus didymus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 290-296.
- Skvortsov, A.K. (1968). *Ivyi SSSR.* Moscow: Nauka (in Russian).

- Thounaojam T. C., Panda P., Mazumdar P., Kumar D., Sharma G. D., Sahoo, L., Panda S K. (2012). Excess copper induced oxidative stress and response of antioxidants in rice. *Plant Physiol Biochem*, 53, 33-39.
- Van Emden, H.F. (2008). *Statistics for terrified biologists*. Blackwell, Oxford.
- Varfolomeyev, S.D. (2005). *Chemical enzymology*. Moscow: Academy (in Russian).
- Vasilyuk, O.M. (2010). Effect of plant growth regulators of humic nature on biochemical parameters in leaves of *Salix alba* L. in condition of water salinity. *Proceed. International Scientific and Practical Conference Biodiversity: theory, practice and methodological aspects of studying in secondary and high school*. Poltava (in Russian).
- Vasilyuk, O.M., Dzyubak, O.I. (2009). Physiological and biochemical parameters of plants as markers of a condition of environment. *Proceed. I International scientific conference of students and young scientists Fundamental and applied research in biology*. Donetsk: Veber.
- Vasilyuk, O.M., Gritsenko, P.V. (2008). Vplyv regulatoriv rostu na aktivnist fermentiv pereaminuvannya v listi ta korennyakh *Salix alba* L. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.*, 16(1), 34–40 (in Ukrainian).
- Vasilyuk, O.M., Pakhomov, A.E. (2014). Effect of lead ions on Alanine Aminotransferase activity in *Glechoma hederacea* leaves subject. *Scientific Enquiry in the Contemporary World: Theoretical Basics and Innovative Approach. Ser. Natural sciences*. B&M Publishing San Francisco, California, USA, B&M Publishing Research and Publishing Center “Colloquium”, 1, 19–26.
- Vasilyuk, O.M., Vinnichenko, O.M. (2006a). Vplyv ioniv svintsyu ta malih doz radiatsiyi na aktivnist katalazi u prorostkah kukurudzi. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.*, 14(2), 30–33 (in Ukrainian).
- Vasilyuk, O.M., Vinnichenko, O.M. (2006b). Vplyv biologichno aktivnih rechovin na aktivnist katalazi kukurudzi riznih genotipiv na foni diyi atsenitu. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.*, 14(1), 26–30 (in Ukrainian).
- Verkhoturov, V.V., Frantenko, V.K. (2008). Vliyanie perekisi vodoroda na anti- i prooksidantnyiy status semyan yachmenya pri prorastanii. *Reports of the Russian Agricultural Science Academy*, 1, 11–13 (in Russian).
- Vestena, S., Cambraia, J., Ribeiro, C., Oliveira, J.A. Oliva, M.A. (2011). Cadmium induced oxidative stress and antioxidant enzyme response in water hyacinth and salvinia. *Braz. J. Plant Physiol*, 23(2), 131-139.
- Vinogradova, E.N. (2015). Ustoychivost peroksidazyi iz listev rasteniy tehnogennih ekotopov k deystviyu ingredientov emissiy v usloviyah *in vitro*. *Factors of plant resistance to extreme environmental conditions and man-made environment*. Moscow, Berlin: Direkt-Media (in Russian).
- Zhang, Y., De Stefano, R., Robine, M., Butelli, E., Bulling, K., Hill, L., Rejzek, M., Martin, C., Schoonbeek, H.-jan. (2015). Different Reactive Oxygen Species Scavenging Properties of Flavonoids Determine Their Abilities to Extend the Shelf Life of Tomato. *Plant Physiol*, 169(3), 1568-1583 doi: 10.1104/pp.15.00346.