

## **ДІЯ ХІМІЧНИХ І БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА ФЕРМЕНТАТИВНУ АКТИВНІСТЬ, ВМІСТ ПІГМЕНТІВ ТА ФОТОСИНТЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

### **Василь Красноштан**

доктор філософії, викладач-стажист кафедри біології та здоров'я людини,  
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини  
ORCID: 0000-0001-8572-5008  
E-mail: wasia1995@gmail.com

### **Ігор Красноштан**

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та здоров'я людини,  
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини  
ORCID: 0000-0003-1317-546X  
E-mail: kr.igor@i.ua

*Стрімкі темпи зростання населення на нашій планеті все частіше призводять до дефіциту харчових продуктів, основним, і часто єдиним, джерелом яких є сільське господарство. Для задоволення все зростаючих потреб людства у продукції агровиробництва ученими розробляються та впроваджуються технології інтенсифікації сільського господарства. Найчастіше, такі технології передбачають використання великої кількості добрив та пестицидів, які хоча й дозволяють отримати більшу кількість якісного врожаю, все ж стають причиною забруднення довкілля і чинником, що, зрештою, шкодить здоров'ю людини.*

*В останні десятиліття вчені активно вивчають можливість зниження хімічного навантаження на посіви сільськогосподарських культур, шляхом включення до технологій їх вироцнення препаратів біологічної природи: біодобрив, регуляторів росту рослин, мікробіологічних інокулянтів тощо. Проте, застосування таких елементів у технологіях вироцнення зернових культур, а також їх вивчення, вимагає розуміння світового досвіду в даному напрямку, що й лягло в основу нашої роботи.*

*Ключові слова:* гербіцид; регулятор росту рослин; біопрепарат; зернові культури; біологізація.

## **EFFECT OF CHEMICAL AND BIOLOGICAL PREPARATIONS ON ENZYMATIC ACTIVITY, PIGMENT CONTENT, AND PHOTOSYNTHETIC POTENTIAL OF GRAIN CROPS**

### **Vasyl Krasnoshtan**

PhD, trainee lecturer at the department of biology and human health,  
Pavlo Tychyna Uman state pedagogical university  
ORCID: 0000-0001-8572-5008  
E-mail: wasia1995@gmail.com

### **Ihor Krasnoshtan**

candidate of biological sciences, associate professor at the department of biology and human health,  
Pavlo Tychyna Uman state pedagogical university  
ORCID: 0000-0003-1317-546X  
E-mail: kr.igor@i.ua

*The rapid population growth on our planet increasingly leads to a shortage of food products, the main and often the only source of which is agriculture. To meet the growing needs of humanity in agricultural production, scientists develop and implement agricultural intensification technologies. Often, such technologies involve the use of a large amount of fertilizers and pesticides, which, while allowing for a higher quantity of quality crops, become a cause of environmental pollution and ultimately harm human health.*

*In recent decades, scientists have been actively exploring the possibility of reducing the chemical load on agricultural crops by incorporating biological preparations into cultivation technologies. These include biofertilizers, plant growth regulators, microbiological inoculants, and so on. However, the application of such elements in the cultivation technologies of grain crops, as well as their study, requires an understanding of the global experience in this direction, which forms the basis of our work.*

**Keywords:** *herbicide; plant growth regulator; biopreparation; grain crops; biologization.*

Забур'яненість посівів – складна проблема, що супроводжує людство з моменту виникнення сільського господарства. Значного прориву у цьому питанні вдалося досягти у двадцятому столітті, коли у виробництво зернових культур було вперше впроваджено застосування гербіцидів [1]. Водночас, це створило низку нових викликів, серед яких основну частку почали складати невідповідне й часто надмірне застосування препаратів, покликаних боротися із сеgetальною рослинністю. Це призвело до накопичення гербіцидів у ґрунті, їх поширення на прилеглі до полів території, а інколи й на більші відстані за участі ґрунтових вод [2, 3].

В ході роботи над вирішенням даних проблем, у науковій спільноті сформувалася й донині розвивається концепція біологізації аграрного виробництва, що полягає у зниженні хімічної компоненти у технологіях вирощування тих чи інших культур шляхом використання препаратів біологічної природи [4]. Такий підхід виправдовує себе, перш за все, тому, що абсолютна відмова від хімічних препаратів неодмінно призведе до зниження об'ємів виробництва аграрної продукції, оскільки поточний рівень розвитку технологій сільського господарства є недостатнім для підтримки врожайності культур на нинішньому рівні за нових умов. Тому, ідеї біологізації знаходять свій прояв у технологіях, що поєднують як застосування хімічних агропрепаратів, так і нових препаратів біологічної природи [5].

Використання біологічних препаратів у посівах зернових культур дозволяє посилити процеси росту та розвитку в культурних рослинах, поліпшити їх здатність засвоювати поживні речовини, підвищити їх здатність протидіяти руйнівному впливу біотичних та абіотичних чинників [6, 7].

В цілому, такий ефект призводить до зростання спроможності рослин конкурувати за життєвий простір та ресурси у межах агроценозу, внаслідок чого, знижується потреба у внесенні добрив і хімічних препаратів [3]. Як наслідок, за збереження вихідних показників урожайності, знижується рівень хімічного навантаження на агроценози. Однак, комплексне застосування препаратів хімічної та біологічної природи в одній технології вирощування може мати різну ефективність, яка, в свою чергу, може залежати від низки чинників, серед яких природа та норми застосовуваних препаратів, способи їх використання, агрокліматичні умови, тип вирощуваної культури тощо. Це, у свою чергу, створює необхідність всебічного аналізу наявних результатів досліджень у даному напрямку для формування більш чіткого розуміння сучасного стану наукової думки в питаннях застосування хімічних і біологічних препаратів у посівах зернових культур.

Від моменту зародження сільського господарства й до нині, розвиток технологій вирощування зернових культур відігравав вирішальне значення у господарській діяльності людини. У свій час, суттєвим кроком уперед було відкриття фізіологічно активних речовин, що здатні пригнічувати, або й зовсім знищувати, сеgetальну рослинність. Це зробило можливим досягнення істотно вищої ефективності вирощування більшості культурних рослин, так як саме засміченість полів бур'янами була й залишається одним із найважливіших чинників, які мають вплив на формування врожаю [1, 2]. Не зважаючи на це, окремі вчені [3, 4] відмічають, що надмірне й подеколи нерациональне застосування гербіцидів може загрожувати екологічній безпеці та здоров'ю людини, оскільки як самі хімічні препарати, так і їх залишки мають здатність до накопичення у ґрунті, можуть проникати на глибину залягання ґрунтових вод та поширюватись далеко за межі агроценозів. Це призводить до руйнівних наслідків для екосистем і, зрештою, для людства в цілому [5, 6].

Механізми впливу гербіцидів на рослини відрізняються залежно від їх хімічної природи і можуть полягати у інгібуванні процесів утворення амінокислот та білків, перешкоджанні або унеможливленні дихання й фотосинтезу тощо [7]. У результаті такої дії часто порушується прооксидантно-антиоксидантний баланс у рослинному організмі, що супроводжується інтенсифікацією утворення активних форм кисню. Дана група хімічних сполук здатна окислювати більшість структурних компонентів клітин, що індукує в них стан оксидативного стресу [8]. Завдяки цьому, гербіциди є ефективним засобом для пригнічення та знищення небажаної рослинності на полі. Водночас, хоча гербіциди й розробляються з урахуванням селективності по відношенню до культурних рослин, вони все ж впливають і на них [8, 9].

Зокрема, окремі ферменти класу оксидоредуктаз, такі як супероксиддисмутаза та пероксидаза, істотно активізуються у рослинах кукурудзи за її обробки гербіцидами Хернес, Фронт'єр і Мерлін [11], що підтверджує активацію антиоксидантних систем для захисту від руйнівної дії активних форм кисню. Проте, в умовах вказаного дослідження, інший фермент – каталаза, пригнічувався за дії гербіцидів, що може свідчити про перевищення кількості утворених активних форм кисню здатності рослин їх нейтралізувати.

Схожі наслідки застосування гербіциду у посівах пшениці спостерігали R. Fakhari et al [12]. За обробки рослин гербіцидом Імазетапір активність каталази, пероксидази й поліфенолоксидази у тканинах знижувалась на 2,8–64%.

Застосування у посівах зернових культур регуляторів росту рослин та біопрепаратів, з позиції впливу на культуру, робить можливим більш повне розкриття її генетичного потенціалу, що дозволяє сформувати вищу врожайність [13, 14].

У дослідженнях із впливу регуляторів росту рослин на посіви рису [15], дані препарати мали різний вплив залежно від своєї природи. Проте, в усіх випадках учені спостерігали активізацію антиоксидантних систем, зокрема, активності супероксиддисмутази та пероксидази. В той же час, відбувалося зниження у тканинах вмісту малонового діальдегіду, що пояснюється високою ефективністю знешкодження активних форм кисню рослинами за вказаних умов.

Дослідження у посівах нуту [16] виявили здатність регуляторів росту рослин підвищувати стресостійкість культури. За передпосівної обробки насіння препаратами на основі бактерій роду *Bacillus* та *Pseudomonas* і подальшого внесення у посіви саліцилової кислоти й препарату Путресцин, відбувалося зниження активності антиоксидантних ферментів при одночасному зниженні інтенсивності перебігу процесів пероксидного окиснення ліпідів на 71–74%.

Наслідком надмірного вмісту активних форм кисню у рослинах є не лише активізація антиоксидантних систем та процесів пероксидного окиснення ліпідів, а й зміни у роботі фотопоглиняльного комплексу. Хоча активні форми кисню і здатні утворюватись у процесі фотосинтезу, несприятливі чинники, такі як посуха, сольовий стрес, критичні температури чи дія окремих хімічних сполук можуть підвищувати активність утворення активних форм кисню пігментним комплексом [17]. Каротиноїди, що є однією із груп пігментів у пігментному комплексі рослин, мають властивість знешкоджувати новоутворені активні форми кисню [18, 19]. Проте, дія гербіцидів може внести свої корективи у баланс вільних радикалів і нейтралізуючих їх факторів індукуючи пероксидацію ліпідів і знижуючи здатність рослин до фотосинтезу [20].

Подібні явища спостерігалися при обробці рослин пшениці гербіцидом Ізопротурон [21]. Унаслідок гербіцидного впливу відбувалося зниження вмісту фотосинтезуючих пігментів, що залежало від вмісту гербіциду у ґрунті. Аналогічні результати у своїх дослідженнях відмічають також і інші вчені [22, 23].

Пригнічення процесу фотосинтезу у рослинах рису відмічалось й за обробки рослин гербіцидами Оксифлуорен, Оксадіазон і Пендіметалін [24]. Чиста продуктивність

фотосинтезу за використання вказаних препаратів знижувалась у середньому на 16,0–36,8%.

Окремі дослідження [25] доводять залежність змін у пігментному комплексі рослин сої від виду гербіцидів та їх поєднання. Так, комбіноване застосування Пендіметаліну, Імазетапіру й Хлорімурон-р-етилу не призводило до суттєвих змін у вмісті фотосинтезуючих пігментів. Водночас, застосування сумішей гербіцидів Метрибузину й Імазетапіру та Метрибузину й Хлорімурон-р-етилу провокувало зменшення концентрації хлорофілів на 10,9–18,6%.

Досить ілюстративним показником, що реагує на варіативність технологій вирощування рослин є чиста продуктивність фотосинтезу, оскільки вона відображає інтенсивність формування й накопичення у тканинах рослин органічних сполук, що прямо впливає на формування показників врожайності [26].

Окремими дослідженнями в суворо контрольованих умовах [27] підтверджено, що дія гербіцидів може пригнічувати фотосинтетичну активність зернових культур. Проте, даний ефект може бути прямо протилежним в умовах поля, оскільки за присутності додаткових чинників, що впливають на рослини, позитивний ефект від видалення небажаної рослинності може перевершити потенційний негативний вплив гербіцидів [28].

Так, за обробки посівів пшениці озимої гербіцидами Гранстар Про, Логран, ПІК і Хармоні, спостерігалось зростання показників чистої продуктивності фотосинтезу на 6,7–8,7% [30].

Подібний ефект від застосування гербіциду Стеллар спостерігали й у посівах кукурудзи [29] – чиста продуктивність фотосинтезу зростала на 5–20% залежно від фази розвитку культури.

Окремі дослідження вітчизняних вчених [31] свідчать про високу ефективність комплексного застосування гербіциду Лінтур і регулятора росту рослин Емістим С на формування чистої продуктивності фотосинтезу посівів пшениці ярої. За вказаних умов даний показник зростав у середньому на 46,4% порівняно з контролем. При цьому, за самостійного застосування гербіциду перевищення до контролю складало 26,5%.

Подібне дослідження у посівах соризу виявило аналогічні тенденції. Так, за обробки рослин сумішню гербіциду Пік 75 в. г. та регулятора росту рослин Регоплант чиста продуктивність фотосинтезу зростала відносно контролю на 0,66 г/м<sup>2</sup> добу і залежала від норми внесення гербіциду.

Отже, застосування хімічних і біологічних препаратів у посівах зернових культур є актуальною темою сучасних наукових досліджень, що досить широко представлена у літературі.

Більшість дослідників у своїх працях приходять до висновку, що гербіциди, хоч і призводять до покращення показників продуктивності посівів, часто можуть мати більш або менш виражений негативний вплив на культурні рослини, особливо за використання високих норм таких препаратів. Проте, включення до технологій вирощування зернових культур регуляторів росту рослин або біопрепаратів дозволяє більш повно розкрити потенціал культури та частково компенсувати фітотоксичну дію гербіцидів.

Проте, не зважаючи на досить широку представленість наукових досліджень у сфері застосування хімічних і біологічних препаратів у посівах зернових культур, це питання залишається відкритим і потребує подальшого вивчення науковцями України та світу.

#### Список використаних джерел

1. The Triazine Herbicides: 50 years Revolutionizing Agriculture / edited by H. M. LeBaron, E. J. McFarland, O. C. Burnside. Amsterdam: Elsevier, 2008. 584 p.
2. Splid N. H., Koeppen B. Occurrence of pesticides in Danish shallow ground water. *Chemosphere*. 1998. Vol. 37. P. 1307–1316.
3. Kudsk P., Streibig J. C. Herbicides – a two-edged sword. *Weed research*. 2003. Vol. 43, No 2. P. 90–102.

4. Миколайко В. П., Мізюк В. П. Біологізація землеробства та її застосування в сільськогосподарському виробництві. *Природничі науки і освіта. Збірник наукових праць природничо-географічного факультету*. Умань: Візаві, 2020. С. 101–105.
5. Буга Н., Кулик Н., Зуякова Л. Розвиток біологічного землеробства та забезпечення органічного виробництва сільськогосподарської продукції. *Економіст*. 2014. № 2. С. 27–30.
6. Трибел С. О., Стригун О. О., Гаманова О. М. Сучасний стан хімічного методу захисту рослин. *Карантин і захист рослин*. 2014. № 1. С. 1–4.
7. Грицаєнко З. М., Карпенко В. П., Притуляк Р. М. Забур'яненість посівів тритикале озимого за дії гербіциду Пріма в суміші з регулятором росту рослин Біюлан. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2012. Вип. 79. С. 47–51.
8. Онопрієнко В. П. Агровиробництво в умовах глобального потепління клімату. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2016. Вип. 9, т. 32. С. 73–80.
9. Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*. 2014. – Vol. 383. P. 3–41.
10. Sharad V. Herbicides: history, classification and genetic manipulation of plants for herbicide resistance. *Sustainable agriculture reviews / Ed. E. Lichtfouse. Cham, 2015. P. 153–192.*
11. Шваргау В. В., Михальська Л. М. Роль фітогормонів у життєдіяльності рослин. *Пропозиція*. 2016. № 3. С. 70–72.
12. Oerke E. C. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*. 2006. Vol. 144, No 1. P. 31–43. DOI: 10.1017/S0021859605005708
13. Reduced phytotoxicity of propazine by salicylic acid / J. J. Zhang et al. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. Vol. 162. P. 42–50. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.06.068
14. Langaro A. C., Agostinetto D., Ruchel Q., Garcia J. R., Perboni L. T. Oxidative stress caused by the use of preemergent herbicides in rice crops. *Revista Ciência Agronômica*. 2017. Vol. 48, No 2. P. 358–364. DOI: 10.5935/1806-6690.20170041
15. Younesabadi M., Das T. K., Pandey R. Effect of herbicide tank-mixes on weed control, yield and physiological parameters of soybean (*Glycine max*) under tilled and no-tilled conditions. *Indian Journal of Plant Physiology*. 2013. Vol. 18. P. 290–294. DOI: 10.1007/s40502-013-0037-8
16. Грицаєнко З. М. Сравнительная эффективность гербицидов Примэкстры и Агелона в посевах кукурузы, выращиваемой в полевом севообороте по индустриальной технологии при разной влажности почвы. Плодородие почвы и продуктивность севооборотов: сборник научных трудов. Киев, 1985. С. 94–102.
17. Ortiz-Hernández L., Sánchez-Salinas E., Olvera-Velona A., Folch-Mallol J. L. Pesticides in the Environment: Impacts and its Biodegradation as a Strategy for Residues Treatment. *In Pesticides – Formulations, Effects, Fate / Ed. M. Stoytcheva. Intech Open, 2011. P. 551–574.*
18. Marin-Morales M. A., Ventura-Camargo B. C., Hoshina M. M. Toxicity of Herbicides: Impact on Aquatic and Soil Biota and Human Health. *Herbicides - Current Research and Case Studies in Use / Eds. A. J. Price and A. J. Kelton. IntechOpen, 2013. DOI: 10.5772/55851*
19. Duke S. O. Overview of Herbicide Mechanism of Action. *Environmental Health Perspectives*. 1990. Vol. 87. P. 263–271.
20. Hassan N. M., Nemat Alla M. M. Oxidative stress in herbicide-treated broad bean and maize plants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2005. Vol. 27, No 4A. P. 429–438.
21. Yin X. L., Jiang L., Song N. H., Yang H. Toxic Reactivity of Wheat (*Triticum aestivum*) Plants to Herbicide Isoproturon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56, No 12. P. 4825–4831. DOI: 10.1021/jf800795v
22. Дикун О. В., Жеребко В. М., Дикун М. О. Вплив ґрунтових і післясходових гербіцидів на вміст пластидних пігментів та продуктивність фотосинтетичного потенціалу сої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 1. С. 81–89. DOI: 10.31210/visnyk2020.01.09
23. Россихина Г. С. Стан антиоксидантної системи *Zea Mays* під впливом гербіцидів. *Biosystems Diversity*. 2006. No 1. С. 149–154.
24. Treatment with the herbicide TOPIK induces oxidative stress in cereal leaves / A. S. Lukatkin et al. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2013. Vol. 105, No 1. P. 44–49. DOI: 10.1016/j.pestbp.2012.11.006
25. Fakhari R., Tobeh A., Alebrahim M. T., Mehdizadeh M., Khiavi H. K. Study of Changes in Activity of Wheat Antioxidant Enzymes under Stress Residue of Imazethapyr Herbicide. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 2020. Vol. 8, № 2. P. 165–179. DOI: 10.33945/SAMI/IJABBR.2020.2.7
26. Овечко К. О., Пашенко Ю. П. Розміри листкового апарату та фотосинтетична продуктивність *Pisum Sativum* L. за дії біостимуляторів (Стиμπο і Регоплант) та Ризогуміну. Інноваційні аспекти виробництва плодоовочевої продукції: матеріали Міжвузівської студентської науково-практичної конференції. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Лух», 2019. С. 94–97.
27. Tkalic Yu. I., Tsyliuryk A. I., Masliiov S. V., Kozechko V. I. Interactive effect of tank-mixed post emergent herbicides and plant growth regulators on corn yield. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 8, No 1. P. 961–965. DOI: 10.15421/2018\_299

28. Білоножко В. Я., Карпенко В. П., Полторецький С. П., Притуляк Р. М. Фізіолого-біохімічні процеси в рослинах ячменю ярого за роздільного та інтегрованого застосування гербіцидів і регуляторів росту рослин. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. № 2. С. 7–13.
29. Шутко С. С. Вплив різних норм гербіциду Пік 75 WG і різних способів застосування PPP Регоплант на реакції пероксидного окиснення ліпідів у рослинах соризу. *COVID-19 – challenges in modern science: Abstracts of XX International Scientific and Practical Conference*. Warsaw: Myśl Naukowa, 2021. С. 177–181.
30. Паланиця М. П., Трач В. В., Мордерер Є. Ю. Генерування активних форм кисню за дії грамініцидів і модифікаторів їх активності. *Фізіологія і біохімія рослин*. 2009. № 4. С. 328–334.
31. Карпенко В. П., Івасюк Ю. І., Притуляк Р. М. Формування листкової поверхні рослин сої і суми хлорофілів за інтегрованої дії гербіциду та біологічних препаратів. *Агробіологія*. 2018. № 1. С. 43–50.
32. Голодрига О. В. Формування якості насіння сої за умов комплексного застосування гербіцидів і Емістиму С. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2011. С. 103–107.

### References

1. LeBaron, H. M., McFarland, E. J., Burnside, O. C. (2008). *The Triazine Herbicides: 50 years Revolutionizing Agriculture*. Amsterdam: Elsevier.
2. Splid, N. H., Koeppen, B. (1998). Occurrence of pesticides in Danish shallow ground water. *Chemosphere*, 37, 1307–1316.
3. Kudsk, P., Streibig, J. C. (2003). Herbicides – a two-edged sword. *Weed research*, 43(2), 90–102.
4. Mykolaiko, V. P., Miziuk, V. P. (2020). Biolohezatsiia zemlerobstva ta yii zastosuvannia v silskohospodarskomu vyrobnytstvi. *Pryrodnychi nauky i osvita. Zbirnyk naukovykh prats pryrodnycho-heohrafichnoho fakultetu*. Uman: Vizavi, 101–105 [in Ukrainian].
5. Buha, N., Kulyk, N., Zuiakova, L. (2014). Rozvytok biolozhichnoho zemlerobstva ta zabezpechennia orhanichnoho vyrobnytstva silskohospodarskoi produktsii. *Economist*, 2, 27–30 [in Ukrainian].
6. Trybel, S. O., Stryhun, O. O., Hamanova, O. M. (2014). Suchasnyi stan khimichnoho metodu zakhystu roslyn. *Quarantine and plant protection*, 1, 1–4 [in Ukrainian].
7. Hrytsaienko, Z. M., Karpenko, V. P., Prytuliak, R. M. (2012). Zabur'ianenist posiviv trytykale ozymoho za dii herbitysydu Prima v sumishi z rehuliatorom rostu roslyn Biolan. *Collected Works of Uman National University of Horticulture*, 79, 47–51 [in Ukrainian].
8. Onopriienko V. P. Ahrovyrobnytstvo v umovakh hlobalnoho poteplinnia klimatu. (2016). *Bulletin of Sumy National Agrarian University*, 9, 32, 73–80 [in Ukrainian].
9. Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3–41.
10. Vats, S. (2015). Herbicides: History, Classification and Genetic Manipulation of Plants for Herbicide Resistance. In: Lichtfouse, E. (eds) *Sustainable Agriculture Reviews*. Sustainable Agriculture Reviews, vol 15. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7_3)
11. Shvartau, V. V., Mykhalska, L. M. (2016). Rol fitohormoniv u zhyttiediialnosti roslyn. *Propozytsiia*, 3, 70–72 [in Ukrainian].
12. Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43.
13. Zhang, J. J., Wang, Y. K., Zhou, J. H., Xie, F., Guo, Q. N., Lu, F. F., Jin, S. F., Zhu, H. M., & Yang, H. (2018). Reduced phytotoxicity of propazine on wheat, maize and rapeseed by salicylic acid. *Ecotoxicology and environmental safety*, 162, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.068>
14. Langaro, A. C., Agostinetto, D., Ruchel, Q., Garcia, J. R., Perboni, L. T. (2017). Oxidative stress caused by the use of preemergent herbicides in rice crops. *Revista Ciência Agronômica*, 48(2), 358–364. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170041>
15. Younesabadi, M., Das, T. K., Pandey, R. (2013). Effect of herbicide tank-mixes on weed control, yield and physiological parameters of soybean (*Glycine max*) under tilled and no-tilled conditions. *Indian Journal of Plant Physiology*, 18, 290–294. <https://doi.org/10.1007/s40502-013-0037-8>
16. Gritsaenko Z. M. (1985). Sravnitel'naya effektivnost gerbitsidov Primekstry i Agelona v posevah kukuruzy, vyraschivaemoy v polevom sevooborote po industrialnoy tehnologii pri raznoy vlazhnosti pochvy. *Plodorodie pochvy i produktivnost sevooborotov: sbornik nauchnykh trudov*. Kyiv, 94–102 [in Russian].
17. Ortiz-Hernández, L., Sánchez-Salinas, E., Olvera-Velona, A., Folch-Mallol, J. L. (2011). Pesticides in the Environment: Impacts and its Biodegradation as a Strategy for Residues Treatment. In *Pesticides – Formulations, Effects, Fate* / Ed. M. Stoytcheva. InTech Open, 551–574.
18. Marin-Morales, M. A., Ventura-Camargo, B. C., Hoshina, M. M. (2013). Toxicity of Herbicides: Impact on Aquatic and Soil Biota and Human Health. *Herbicides - Current Research and Case Studies in Use* / Eds. A. J. Price and A. J. Kelton. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/55851>
19. Duke, S. O. (1990). Overview of Herbicide Mechanism of Action. *Environmental Health Perspectives*, 87, 263–271.
20. Hassan, N. M., Nemat Alla, M. M. (2005). Oxidative stress in herbicide-treated broad bean and maize plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 27(4), 429–438.

21. Yin, X. L., Jiang L., Song, N. H., Yang, H. (2008). Toxic Reactivity of Wheat (*Triticum aestivum*) Plants to Herbicide Isoproturon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4825–4831. <https://doi.org/10.1021/jf800795v>
22. Dykun, O. V., Zhrebko, V. M., Dykun, M. O. (2020). Vplyv gruntovykh i pisliashkodovykh herbitsydiv na vmist plastydnykh pihmentiv ta produktyvnist fotosyntetychnoho potentsialu soi. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 81–89 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.01.09>
23. Rossykhina, H. S. (2006). Stan antyoksydantnoi systemy *Zea Mays* pid vplyvom herbitsydiv. *Biosystems Diversity*, 1, 149–154 [in Ukrainian].
24. Lukatkin, A. S., Gar'kova, A. N., Bochkarjova, A. S., Nushtaeva, O. V., & Teixeira da Silva, J. A. (2013). Treatment with the herbicide TOPIK induces oxidative stress in cereal leaves. *Pesticide biochemistry and physiology*, 105(1), 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.11.006>
25. Fakhari, R., Tobeh, A., Alebrahim, M. T., Mehdizadeh, M., Khiavi, H. K. (2020). Study of Changes in Activity of Wheat Antioxidant Enzymes under Stress Residue of Imazethapyr Herbicide. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 8(2), 165–179. <https://doi.org/10.33945/SAMI/IJABBR.2020.2.7>
26. Ovechko, K. O., Pashchenko, Yu. P. (2019). Rozmiry lystkovoho aparatu ta fotosyntetychna produktyvnist Pisum Sativum L. za dii biostymulatoriv (Stympo i Rehoplant) ta Ryzohuminu. *Innovatsiini aspekty vyrobnytstva plodoovochevoi produkcii: materialy Mizhvuzivskoi studentskoi naukovy-praktychnoi konferentsii*. Melitopol: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr "Lux", 94–97 [in Ukrainian].
27. Tkalich, Yu. I., Tsyliuryk, A. I., Masliiov, S. V., Kozechko, V. I. (2018). Interactive effect of tank-mixed post emergent herbicides and plant growth regulators on corn yield. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 961–965. [https://doi.org/10.15421/2018\\_299](https://doi.org/10.15421/2018_299)
28. Bilonozhko, V. Ya., Karpenko, V. P., Poltoretskyi, S. P., Prytuliak, R. M. (2012). Fiziologo-biokhimichni protsesy v roslynakh yachmeniu yaroho za rozdilnoho ta intehrovanoho zastosuvannia herbitsydiv i rehulatoriv rostu roslyn. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 2, 7–13 [in Ukrainian].
29. Shutko, S. S. (2021). Vplyv riznykh norm herbitsydu Pik 75 WG i riznykh sposobiv zastosuvannia RRR Rehoplant na reaktsii peroksydnoho okysnennia lipidiv u roslynakh soryzu. COVID-19 – challenges in modern science: Abstracts of XX International Scientific and Practical Conference. Warsaw: Myśl Naukowa, 177–181 [in Ukrainian].
30. Palanytsia, M. P., Trach, V. V., Morderer, Ye. Yu. (2009). Heneruvannia aktyvnykh form kysniu za dii hraminitsydiv i modyfikatoriv yikh aktyvnosti. *Physiology and biochemistry of cultural plants*, 4, 328–334 [in Ukrainian].
31. Karpenko, V. P., Ivasiuk, Yu. I., Prytuliak, R. M. (2018). Formuvannia lystkovoї poverkhni roslyn soi i sumy khlorofiliv za intehrovanoi dii herbitsydu ta biolohichnykh preparativ. *Agrobology*, 1, 43–50 [in Ukrainian].
32. Holodryha, O. V. (2011). Formuvannia yakosti nasinnia soi za umov kompleksnoho zastosuvannia herbitsydiv i Emistymu C. *Collected Works of Uman National University of Horticulture «Osnovy biolohichnoho roslynnytstva v suchasnomu zemlerobstvi»*, 103–107 [in Ukrainian].